£40

Handbuch der Physik.

Handbuch der Physik

zur

Selbstbelehrung für Jedermann

von

Professor Ph. Spiller.
(Verf. von „Grundriß der Physik", „Physik für Frauen", „Neue Theorie der Elektrizität und des Magnetismus" 2c.)

Zweiter Band.

Mit 178 in den Text gedruckten Figuren und Abbildungen.
(Ueberhaupt 432 Figuren.)

Berlin 1866.
L. Oehmigke's Verlag
(Fr. Appelius.)

Vorwort zum zweiten Bande.

Mit diesem Bande schließt das populäre Handbuch der Physik ab und wird mit dem innigen Wunsche in die Welt gesendet, daß es im Volke recht reichliche Früchte trage. Ich habe mich auch in diesem Bande bemüht, die allseitigsten Anwendungen für das praktische Leben anzugeben und alle uns irgendwie bemerkbaren Erscheinungen auf die Naturgesetze zurückzuführen. Das Werk ist in diesen Beziehungen reichhaltig, wie keines der bis jetzt vorhandenen. Ein Blick auf das Inhaltsverzeichniß und das Register wird dies schon bestätigen und auch den Beweis liefern, daß ich eine ziemliche Anzahl neuer und interessanter Beobachtungen mitgetheilt habe, welche zum Theil geeignet sein möchten, die von mir aufgestellte theoretische Auffassung wesentlich zu unterstützen.

Wenn ich es versucht habe, die Erscheinungen des Schalles, des Lichtes, der Wärme, der Elektrizität, des Magnetismus und theilweise auch des Chemismus unter gemeinschaftlichen Gesichtspunkten zusammenzufassen, wozu ich bereits vor 11 Jahren in einer kleinen Schrift den Anfang machte, welche unter dem Titel: „Neue Theorie der Elektrizität und des Magnetismus in ihren Beziehungen zu Schall, Licht und Wärme“ hier bei E. S. Mittler & Sohn, 1861, in dritter Auflage erschienen ist; so mag man dies vielleicht für gewagt ansehen, weil man meinen könnte, daß die Wissenschaft noch nicht so weit vorgeschritten sei, um das als völlig unzweifelhaft darstellen zu können, was nur wahrscheinlich erscheint. Aber ich glaube, daß wir uns nicht länger einer Erklärungsweise verschließen können, welche, gestützt auf unleugbare Thatsachen, bis jetzt noch nicht widerlegte Grundideen aufstellt, nach denen sich alle auch noch so verwickelten und dunklen Erscheinungen ungezwungen als Folgerungen ergeben. Ich habe alle Erscheinungen, wie es die Rückblicke in beiden Bänden andeuten, auf eine einzige die ganze Natur beherrschende Kraft zurückzuführen und Einheit in die verschiedenartigsten Erscheinungen zu bringen gesucht. Es muß doch endlich einmal, wenn wir nicht fortwährend Vieles, namentlich in der Lehre vom Magnetismus und der Elektrizität, wollen als nebelhaft, räthselhaft und ganz

unklar erscheinen lassen, der Versuch gemacht werden, den Schleier zu lüften, welcher uns den Zugang zur klaren Erkenntniß verschließt. Dabei gestehe ich, daß ich mich freilich nicht zu der supranaturalistischen Ableugnung des Stoffes, wie sie hin und wieder bei den Naturphilosophen spukt, habe erheben können und halte überhaupt dafür, daß dieses Hirngespinst den nüchternen Verstand zu umstricken unfähig ist.

Man könnte in Betreff meiner Darstellung allerdings wohl sagen: ein Versuch zur Erklärung der Zusammengehörigkeit der scheinbar verschiedensten Erscheinungen gehört nicht in ein zur Belehrung des Volkes in allen seinen Schichten vorzugsweise bestimmtes Buch. Ich meine aber, daß das Volk auch im Großen und Ganzen mehr und mehr zum Denken angeregt werden muß, da man ihm ohnehin vielzusehr zumuthet, blos zu glauben. Das Buch soll dazu beitragen, den todten Glauben mehr und mehr in ein lebendiges Wissen zu verwandeln.

Wer nun aber die Schwierigkeiten mit Sachkenntniß ermißt, welche auf den Schriftsteller beim Durchbrechen einer neuen Bahn in diesem Gebiete mit seinem überwältigenden Stoffreichthume sich häufen, wird es verstehen, nachsichtig zu sein und lieber zu belehren und es besser zu machen sich bemühen, als frischweg abzusprechen, was allerdings eine ziemlich leichte Arbeit ist, bei welcher man ein Buch nicht einmal ordentlich zu lesen braucht.

Berlin, im Februar 1866.

Ph. Spiller.

Inhalt des zweiten Bandes.

Siebente Abtheilung.

Schwingende Molekularbewegungen überhaupt.

Erster Abschnitt.

Allgemeine Erscheinungen.

Zweiter Abschnitt.

Zurückwerfung von Schwingungen.

ferenzen. Feine Gitter (95), irisirende Farben, Heiligenschein, Höfe um Sonne und Mond. Deutliches Sehen durch Spalte (96).

Siebenter Abschnitt.

Uebertragung von Schwingungen.

Allgemeine Betrachtung. Mittheilung (96). Kapazität. Transmission oder Wirkung auf die Entfernung, Abschwächung (97).

1) Uebertragung von Schallschwingungen durch Körper aller Aggregatzustände (97). Leitung und Transmission, Leitungsfähigkeit (98). Das Stetoskop (99). Wirkung auf die Entfernung und deren Abschwächung (100). Die Resonanz (101). Richtung der Fortpflanzung, Spannungsverhältniß. Beispiele, Bau von musikalischen Instrumenten (103).

2) Uebertragung von Wärmeschwingungen (105). Schwingungskraft, Wirkungen im Allgemeinen: a) Veränderung des Volumens der Körper durch die Wärme (106). Wärmemessung (107): Quecksilberthermometer mit Berücksichtigung des Barometerstandes (108). Verschiedene Skalen (109). Verwandlungen (110). Thermometrograph (112). Luftthermometer (113). Differenzialthermometer. Luftpyrometer. Metallthermometer (114). Metallpyrometer, Wedgwoods Messung (115). b) Wärmekapazität (115), ihre Bestimmungsmethoden: Mengung (116), Schmelzung (118), Abkühlung. Bedingung für die Wärmekapazität (119). Freie und gebundene Wärme. Kältemischungen (120).

3) Mittheilung und Uebertragung von Lichtschwingungen (121). Insolation. Durchsichtige, wasserhelle und undurchsichtige Körper (122). Hemmung der Lichtwellen. Farbig durchsichtige, farbig undurchsichtige Körper (123). Schwarz, weiß, grau. Opalisiren (124). Der Schatten: Kern- und Halbschatten. Photometrie (125). Verfinsterungen (126) des Mondes, der Sonne. Sonnenuhren (128).

Achte Abtheilung.

Schwingende Molekularbewegungen mit besonderen Erscheinungen.

Erster Abschnitt.

Vom Schalle.

Wirkungen des Schalles auf das Gefühl (132). Entstehungsweisen des Schalles und namentlich der Töne durch Körper aller Aggregatzustände (133): savart'sche Räder (134), der tönende Sand, Schnee, Streichinstrumente, Wasserpfeifen. Scheibensyrene (135). Chemische Harmonika (136). Lippenpfeifen (137). Aeolsharfe. Stimmorgan (138). Stab- oder Speichensyrene. Blasinstrumente (139). Maultrommel. Töne durch Wasserstrahle. Wahrnehmung des Schalles, Gehörorgan (140), Abstumpfung desselben (141).

1) Tongesetze bei Saiten (142). Diatonische Tonleiter (143). Intervalle (145). Tonarten (146). Die chromatische Tonleiter. Die Temperatur (147). Das Komma (148). Absolute Schwingungszahl der Töne, die Stimmungen (149). Tonwellendicke (150). Wechselnde Tonhöhe (152). Obertöne. Flageolet-

Zweiter Abschnitt.

Vom Lichte.

Dritter Abschnitt.

Von der Wärme.

Vierter Abschnitt.

Von der Elektrizität.

Fünfter Abschnitt.

Vom Magnetismus.

Sechster Abschnitt.

Wechselwirkung der Molekularschwingungen.

Meteorologischer Nachtrag.

2) Gegend der Apogäums (516). Regenzeit, Barometerstand, Drehung der Windfahne (517), das Fortschreiten, die periodischen Schwankungen (518).

3) Nördliche gemäßigte Zone, die [illegible] und Veränderungen von Luftströmen (519). Mittlere Windrichtung (519). Gang der meteorologischen Instrumente und Witterung (520). Die Passatwinde (521), Gewitter und ihre Zeit. Drehung des Windes gegen die Sonne (523) auf dem atlantischen Ocean. Freunden (524). Feste Wetterpfaden am Barometern (524). Witterungsregeln (525).

4) Südliche gemäßigte Zone, Drehung des Windes mit der Sonne und gegen die Sonne (526). Kalte Zone, Gegend um die Pole (527).

Nutzen der praktischen Regeln und Zweck von Dove's Theorie (527). Die Winde überhaupt: der Passat (529), [illegible] Theorie dieser Erscheinungen, innere und äußere Grenze der Passate (530); die indischen Monsune (531). Druck der Windesströme und der trockenen Luft, [illegible] (532); die Windmonsune der [illegible] (533). [illegible] des Passats (533); die [illegible] Winde (534); die veränderlichen Winde (535). Die Drehung, betreffend auf beiden Halbkugeln (536). [illegible] der Veränderungen der meteorologischen Erscheinungen, Uebersichtstabelle dazu (537). Gemeinschaftliches und Unterscheidendes für beide Halbkugeln (538). Regeln in Betreff der Witterungslage (539). Einfluß der Bewegung eines Schiffes auf die Beobachtung der Drehungsgesetze (541).

Siebente Abtheilung.

Die schwingenden Molekularbewegungen.

Erster Abschnitt.

Allgemeine Erscheinungen.

Wir kommen jetzt zu einer großen Klasse von zusammengehörigen Erscheinungen, welche dadurch höchst merkwürdig und wunderbar sind, daß sie zwar an der Körperwelt durch verschiedene unserer Sinne, wie durch das Gehör, das Gefühl, das Gesicht, erkannt werden, daß man aber an diesen Körpern selbst eine Veränderung ihres Zustandes nicht wahrnimmt. Hierher gehört u. a. das Tönen der in einer Flöte befindlichen Luftsäule, die Erwärmung eines Steines, welcher den Sonnenstrahlen ausgesetzt ist, das Telegraphiren durch einen Kupferdraht, das Leuchten der Gestirne und anderer Körper, die Anziehung eines magnetisirten Stahlstabes gegen Eisen.

Man hat bis in die neueste Zeit geglaubt, und leider scheinen es Manche selbst jetzt noch zu glauben, daß diese und ähnliche Erscheinungen von einem besonderen Stoffe herrühren, daß also von dem leuchtenden Körper eine feine Materie ausströme, welche auf unser Auge wirke; daß die elektrischen und magnetischen Erscheinungen durch eine eigenthümliche Flüssigkeit erzeugt würden; ja daß es einen Wärmestoff gäbe, welcher einer Ansammlung fähig sei. In Beziehung auf den Schall hat man freilich den Gedanken, daß er durch einen im schallenden Körper wirksamen Stoff hervorgebracht werde, nicht aufkommen lassen, weil hier die sinnliche Wahrnehmung in sehr vielen Fällen den Schall als eine Bewegungserscheinung erkennen läßt. Hat man nämlich eine lange und wenig gespannte Saite aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht, so sieht man deutlich, wie sie durch eine Reihe von Schwingungen, deren Weite immerfort geringer wird, endlich in Ruhe kommt; je mehr man aber die Saite anspannt oder je mehr man sie verkürzt oder je mehr

man Beides thut, desto weniger gelingt es, die einzelnen Schwingungen durch das Auge zu erkennen und zu zählen, bis sie endlich bei hinreichender Kürze und Spannung, namentlich einer dünnen Saite, unserer Wahrnehmung durch das Auge sich völlig entziehen, aber dem Ohre als hoher Ton noch wahrnehmbar sind.

Hier haben wir also schon einen Fall, daß schwingende Bewegungen der Theilchen eines Körpers vorhanden sind, ohne daß wir dieselben sehen. Wir sehen aber überhaupt Bewegungen dann nicht, wenn sie entweder allzu langsam oder allzu rasch sind. Die Bewegung des Stundenzeigers einer Taschenuhr ist ein Beispiel vom ersten, der Flug einer abgeschossenen Büchsenkugel eines vom zweiten Falle.

Daraus ergibt sich, daß wir mit unserem Urtheile über das Vorhandensein oder den Mangel von Bewegung sehr vorsichtig sein müssen. Namentlich sind es die schwingenden Bewegungen der Molekel, d. h. der Atomgruppen, aus welchen jeder Körper besteht, er mag ein einfacher oder ein zusammengesetzter sein, welche sich unserer unmittelbaren Wahrnehmung meistens entziehen, auf deren Vorhandensein wir aber durch richtige Schlüsse bei scheinbar ganz verschiedenartigen Erscheinungen zurückkommen. Es sind grade die herrlichsten Entdeckungen und Nutzanwendungen derselben, welche diesem Gebiete angehören und die Physik in neuerer Zeit so höchst interessant und fürs praktische Leben so ungemein fruchtbar gemacht haben.

Wegen der Wichtigkeit dieser Schwingungserscheinungen und um dieselben auch unter den räthselhaftesten Umständen mit Leichtigkeit erklären zu können, müssen wir zu den früheren Angaben über die Schwingungen beim Pendel noch einige allgemeine Betrachtungen anführen.

Erregende Kräfte. Die Kräfte, welche Schwingungen hervorbringen und erhalten, sind verschieden. Bei einem Pendel war es die Anziehungskraft der Erde, welche den Pendelkörper, nachdem er aus der Ruhelage gehoben und losgelassen worden war, nach der tiefsten Stelle unter dem Aufhängepunkte, d. h. nach dem Gleichgewichtspunkte hinzog. Zieht man eine angespannte Saite seitwärts und läßt sie los, so werden alle ihre Theilchen nach der ursprünglichen Lage, der Ruhe- oder Gleichgewichtslage, zurückgezogen. Es ist die Elastizität oder das Bestreben aller Theilchen, in ihrer natürlichen Lage bleiben oder sie erlangen zu wollen, so lange thätig, bis dieses Ziel endlich erreicht ist. Tropfbare Flüssigkeiten befinden sich in der Gleichgewichtslage, wenn das Niveau derselben in Ruhe ist, also alle in gleicher Tiefe unter ihm befindlichen Theilchen einen gleichen Druck erleiden und ausüben. Wenn man aber auf dem Niveau, z. B. des Wassers, eine Vertiefung bildet, indem man etwa eine Metallkugel hineinfallen läßt; so gerathen die Theilchen auch unter dem Niveau in schwingende, auf- und abwärts gehende Bewegungen, die man sehr leicht erkennen kann, wenn man in

das Wasser etwas pulverisirten Bernstein streut, welcher das spezifische Gewicht des Wassers hat. Man sieht deutlich, wie die Bernsteinstückchen auf- und abwärts schwingen: abwärts wegen ihres Gewichtes, aufwärts wegen des Gegendruckes des unter ihnen befindlichen Wassers. — Auch die luftigen Körper können durch schnelle Stöße, plötzliche Verdichtungen und Verdünnungen, zu Schwingungen angeregt werden, wobei dann ihre Elastizität und das Bestreben, sich überallhin ins Gleichgewicht zu setzen, wirksam sind. — Als höchst wichtig, ja unentbehrlich für den Haushalt der ganzen Natur, werden wir die Schwingungen des Weltäthers erkennen.

Unter allen Umständen besteht eine ganze Schwingung aus Hin- und Rückweg der Massentheilchen eines Körpers; aber sowohl der Hin-, als auch der Rückweg hat zwei Theile, welche durch die Gleichgewichtslage gebildet werden. Von den vier einzelnen Theilen einer ganzen Schwingung werden unter allen Umständen die beiden nach der Gleichgewichtslage hin, also der erste und dritte, mit beschleunigter Bewegung; die beiden von der Gleichgewichtslage weg, also der zweite und vierte, mit verzögerter Bewegung zurückgelegt.

Schwingungskraft. Hängen an zwei Fäden von gleicher Länge zwei ungleich schwere Kugeln, welche man um einen gleichen Winkel erhebt; so ist die Stoßkraft der leichteren Kugel in dem tiefsten Punkte eine geringere, als die der schweren. Wenn gleich gewichtige Kugeln um ungleiche Winkel gehoben und dann losgelassen werden, so gehört zum kleineren Winkel eine kleinere Stoßkraft im tiefsten Punkte. Werden zwei Kugeln von gleichem Gewichte an ungleich langen Fäden um gleiche Winkel gehoben, so hat die am längeren Faden eine geringere Stoßkraft

Ein schwingender Körper oder ein schwingendes Körpertheilchen hat seine größte Kraft in dem Gleichgewichtspunkte, weil dort die größte Geschwindigkeit stattfindet. Diese Kraft wollen wir Schwingungskraft, Schwingungsintensität, nennen. Sie hängt in gradem Verhältnisse von der Masse des schwingenden Körpers und von der im Gleichgewichtspunkte erlangten Geschwindigkeit ab; die letztere selbst aber wächst mit der Zunahme der Weite der Schwingungen bei bestimmter Dauer einer jeden einzelnen und mit der Abnahme der Dauer (oder Zunahme der Anzahl in bestimmter Zeit) der Schwingungen bei bestimmter Weite. Nehmen Masse, Weite und Schwingungszahl zugleich zu, so findet das Wachsen der Schwingungskraft in erhöhtem Maße statt.

Bei jedem schwingenden Körper nimmt die Schwingungskraft eines bestimmten Theiles ab mit der Zeit und die verschiedener Theile mit ihrer Entfernung vom Erregungsorte, denn die Schwingungsweite vermindert sich von dort an nach und nach, bis der Gleichgewichtszustand eingetreten ist. Der Grund dieser Verminderung liegt nicht blos in den äußeren Widerständen durch die einen schwingenden Körper umgebenden Stoffe,

sondern auch in den schwingenden Körpern selbst, deren Stofftheile fortwährend die ursprüngliche Gleichgewichts- oder Ruhelage gegen einander annehmen wollen.

Schwingt z. B. eine Saite in der Luft, so muß sie dieselbe verdrängen und ihren Widerstand mit Kraftverlust überwinden; aber da die Saite auch eine Formveränderung erleidet, so kommen ihre Theilchen in eine veränderte Lage, bei deren Wiedererstrebung sie aneinander sich reiben, was ebenfalls mit einem Kraftaufwande verbunden ist. Durch Beides wird die Schwingungsweite, also auch die Schwingungskraft eines bestimmten Theilchens nach und nach vermindert. Das Bestreben der Theilchen eines Stoffes, also auch der des Weltäthers, ihre Gleichgewichtslage festzuhalten, ist es auch, welches die Schwingungsweite und somit die Kraft der Schwingung mit zunehmender Entfernung von der Stelle, in welcher die Störung des Gleichgewichtes stattfand, vermindern läßt. Schlägt man z. B. irgendwo auf einen Stab, auf eine Scheibe, läßt man einen Stein auf einen ruhigen Wasserspiegel fallen, bringt man in der Luft einen Knall oder eine Explosion hervor, erwärmt man einen Körper an einer Stelle oder erzeugt man Licht, Elektrizität, Magnetismus; so wird die Weite der Schwingungen vom Erregungsorte an mit zunehmender Entfernung immer kleiner, so daß also auch die Schwingungskraft und der damit in Verbindung stehende Grad der Wahrnehmbarkeit abnimmt.

Diese einfachen Betrachtungen lassen uns den Vorgang bei den wichtigsten Erscheinungen erkennen. Wir können z. B. daraus entnehmen, daß die große Kraft heißer Dämpfe nicht aus Bewegungen des so außerordentlich zarten Weltäthers (vergl. S. 17, Bd. I.) zu erklären möglich ist, sondern nur aus denen der Massentheile des um außerordentlich viel gewichtigeren Dampfes selbst; ferner daß ein Körper wärmer oder kälter wird, jenachdem er einen kleineren oder größeren Raum einzunehmen gezwungen wird. Diese und unzählige andere Thatsachen werden wir aber erst an den geeigneten Stellen auf die einfachen Naturgesetze zurückführen.

Schwingungsarten. Um das Verständniß der verschiedenen Vorgänge zu erleichtern, müssen wir zunächst noch die Richtungen, in welchen die Körpertheile bezüglich der Abmessungen des ganzen Körpers schwingen, näher angeben. Unter den Körpern sind in Betreff der drei Ausdehnungen zwei Arten besonders hervorzuheben: die linienförmigen und die flächenförmigen Körper; bei jenen überwiegt die Länge (Stricknadel, angespannte Saite), bei diesen die Länge und Breite (Metallscheibe, Trommelfell).

Hinsichtlich der Schwingungsrichtung können wir drei Arten von Schwingungen unterscheiden:

1) Die Querschwingungen, bei welchen jeder Theil des Körpers sich in einer Ebene bewegt, die auf der Hauptrichtung oder den

Hauptrichtungen desselben lothrecht steht. Wird das eine Ende einer Stricknadel festgeklemmt, das andere aus der Gleichgewichtslage gebracht und losgelassen; so machen alle Theile Querschwingungen, deren Weite nach der befestigten Stelle hin abnimmt. Ebenso ist es, wenn man auf einen an seinen beiden Enden befestigten Stab oder Streifen von Stahl, Glas, Holz u. a. in der Mitte einen Schlag ausübt oder eine angespannte Saite seitwärts zieht und losläßt, oder das angespannte Fell einer Trommel, eine Glas- oder Metallscheibe (Tam-Tam) anschlägt; nur daß die Schwingungsweite von der Mitte nach den Enden abnimmt.

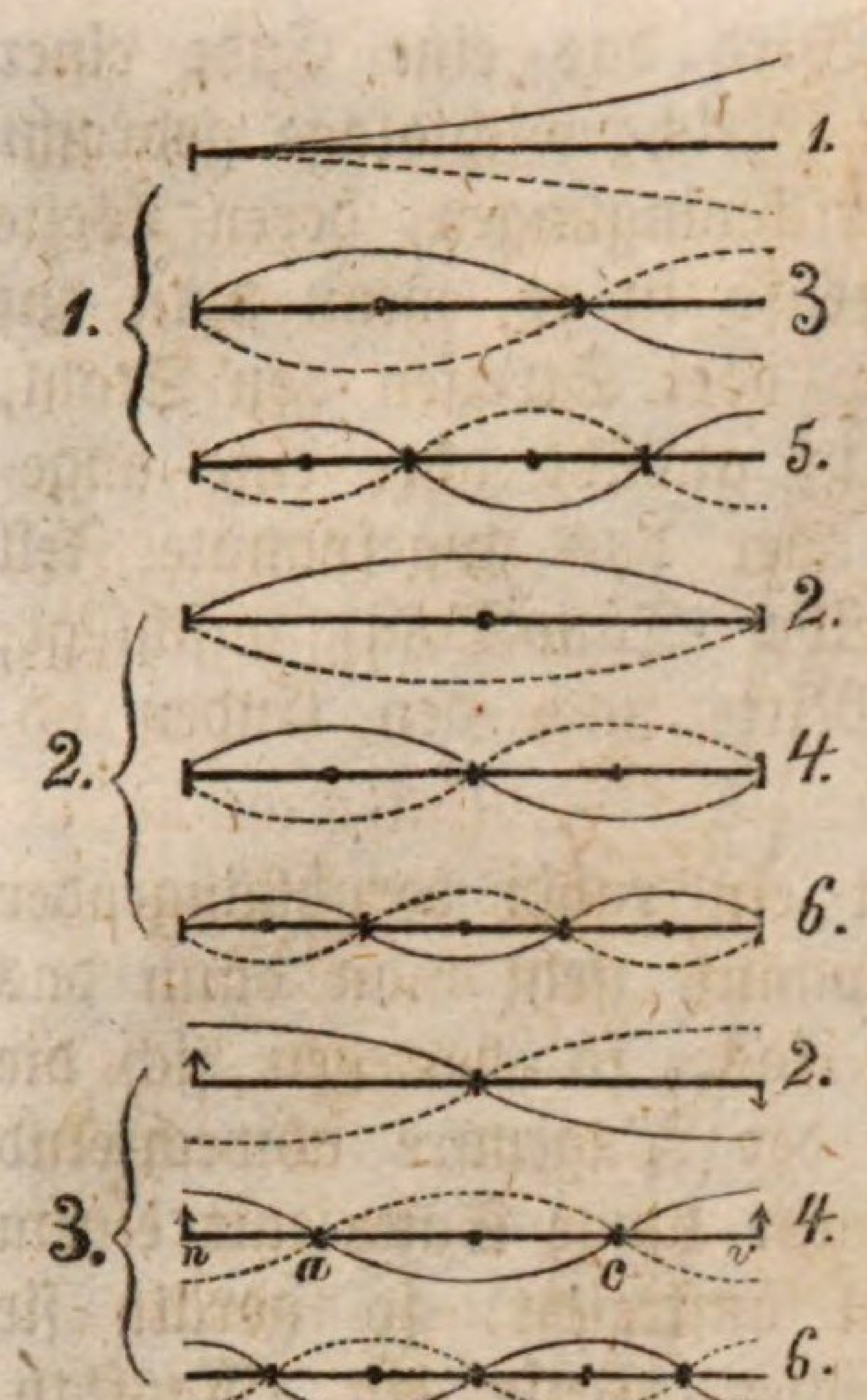
2) Die Längenschwingungen. Ist ein ruhig herabhängender Gummischlauch durch ein Gewicht mäßig gespannt, zieht man dann das Gewicht noch etwas nach unten und läßt es los; so bewegen sich die Theilchen des Schlauches in der Richtung der Längenaxe abwechselnd auf- und abwärts. Wenn man eine angespannte lange Saite mit einem Violinbogen unter einem recht spitzen Winkel anstreicht, so geräth sie ebenfalls in Längenschwingungen. In gleicher Weise ein Glasstab, welchen man mit einem geharzten oder feuchten Tuchflecke der Länge nach reibt. Noch andere Fälle lernen wir später kennen.

3) Die drehenden Schwingungen. Wenn man das einen Gummischlauch, einen Faden n. dergl. spannende Gewicht wiederholt ringsum dreht, ohne es zu heben und dann losläßt; so machen die Theile des Schlauches um seine Axe hin- und hergehende krummlinige Bahnen, deren Weite nach und nach abnimmt, bis endlich die Ruhe eintritt.

Wellen.

Durch die Schwingungen der Theile eines Körpers wird seine Form und Dichtigkeit geändert. Jeder Theil des Körpers, welcher zwischen den Gränzen dieser Veränderung enthalten ist und dessen Bestandtheile eine ganze Schwingung vollenden, heißt eine Welle. Die Wellen sind je nach den Abmessungen und den Aggregatzuständen der Körper verschieden.

Seilwellen. Bewegt man das freie Ende eines dünnen, etwa 8 Fuß langen, angebundenen und nicht angespannten Seiles oder Gummischlauches zuerst langsam im Kreise, so beschreiben alle Theile desselben auch Kreise, welche von der Mitte aus nach den beiden Enden kleiner werden. Bei etwas vergrößerter Drehungsgeschwindigkeit bildet sich in der Mitte eine Stelle, ein Knotenpunkt, welche an der Kreisbewegung nicht theilnimmt, während die beiden Hälften nach entgegengesetzter Richtung sich drehen. Je mehr die Geschwindigkeit vergrößert wird, desto mehr Knotenpunkte entstehen. Die letzteren sind stets das Zeichen der Vernichtung der entgegengesetzten Bewegungen der beiden



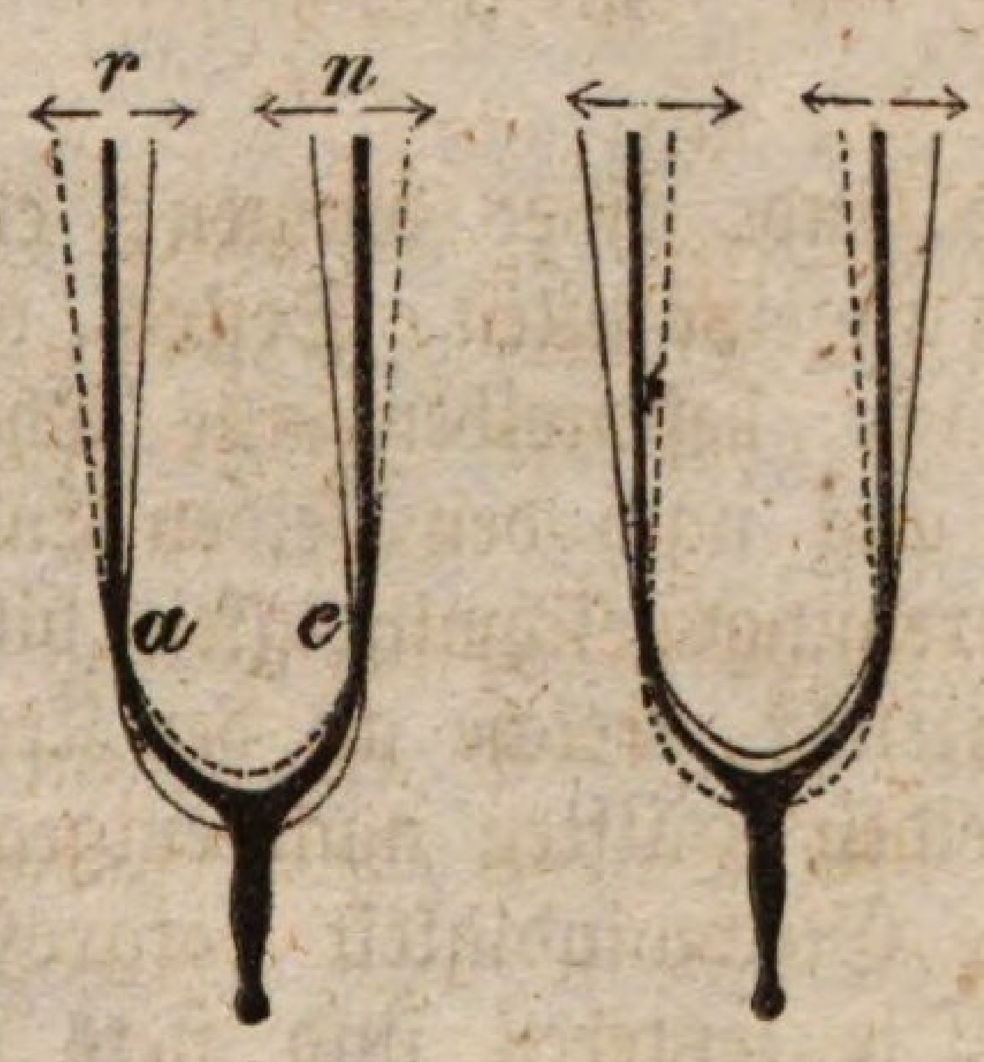
(Fig. 255.)

benachbarten Theile und theilen das ganze Seil in lauter gleiche Theile. Die Stellen mit den weitesten Schwingungen heißen Bäuche.

Eine angespannte Saite kann man leicht zwingen, eine beliebige Anzahl von Knotenpunkten zu bilden. Theilt man sie z. B. in vier gleiche Theile, setzt auf die Theilpunkte und anderwärts kleine Papierreiter, hält die Saite am Ende des ersten Viertels in nur wenigen Punkten fest und streicht seine Mitte so an, daß ein klarer Ton entsteht; so werden alle Reiter mit Ausnahme der auf den Theilungspunkten befindlichen abgeworfen und dieses sind also ruhende Knotenpunkte, während die Mitten der Theile am weitesten schwingen und Bäuche sind.

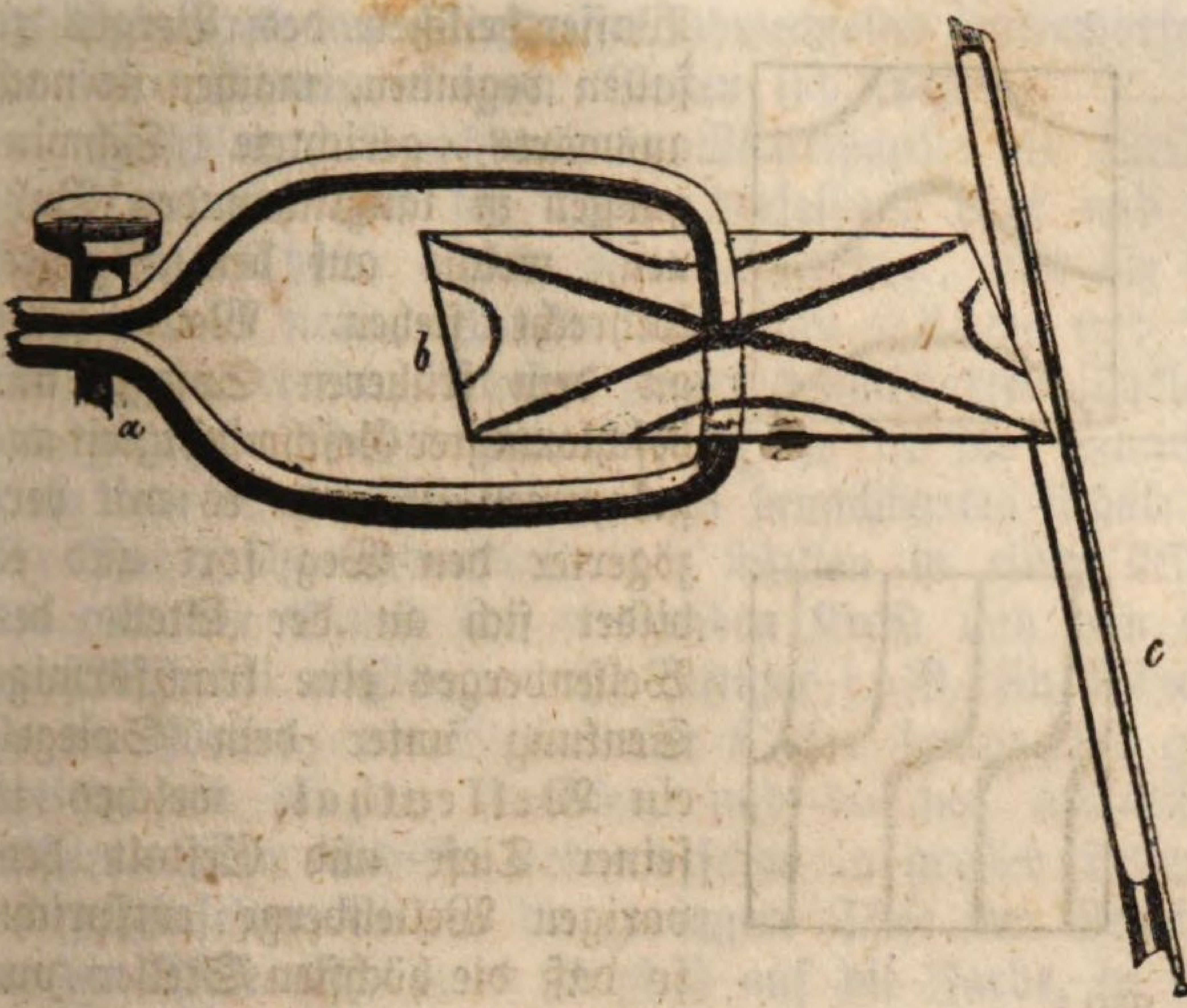
Stabwellen. Beschreibt man mit dem einen Ende eines dünnen und langen Rohrstöckchens oder Stahlstreifens kleine Kreise, so bilden sich mit zunehmender Geschwindigkeit mehr und mehr Knotenstellen, wobei der Stab in eine ungrade Anzahl von Theilen sich zerlegt, wenn man die Entfernung von einem Knoten bis zur Mitte des nächsten Bauches einen Theil nennt. — Ein an beiden Enden befestigter Stab theilt sich, wie eine angespannte Saite, in eine grade Anzahl gleicher Theile. — Ist der Stab an beiden Enden frei, so ist die Anzahl der Theile zwar auch eine grade, aber von jedem Ende bis zum nächsten Knoten ist nur je ein Theil. Die Fig. 255 deutet die drei Fälle an.

Wenn der Stab in der zweiten Zeichnung des dritten Falles gekrümmt und die Mitte mit einem Stiele oder Halter versehen ist, so hat man eine Stimmgabel, Fig. 256, wobei freilich wegen der Verdickung des Stabes am Stiele die beiden Knotenpunkte einander näher gerückt sind. Weil die Richtungen der Schwingungen zu beiden Seiten entgegengesetzte sind, so schwingen die Enden r und n der Zinken abwechselnd zu einander oder von einander, wie es die Pfeile andeuten.



(Fig. 256.)

Flächenwellen. Einen flächenförmigen Körper, z. B. eine Glasscheibe, ein Paukenfell, kann man sich aus lauter linienförmigen Streifen zusammengesetzt



(Fig. 257.)

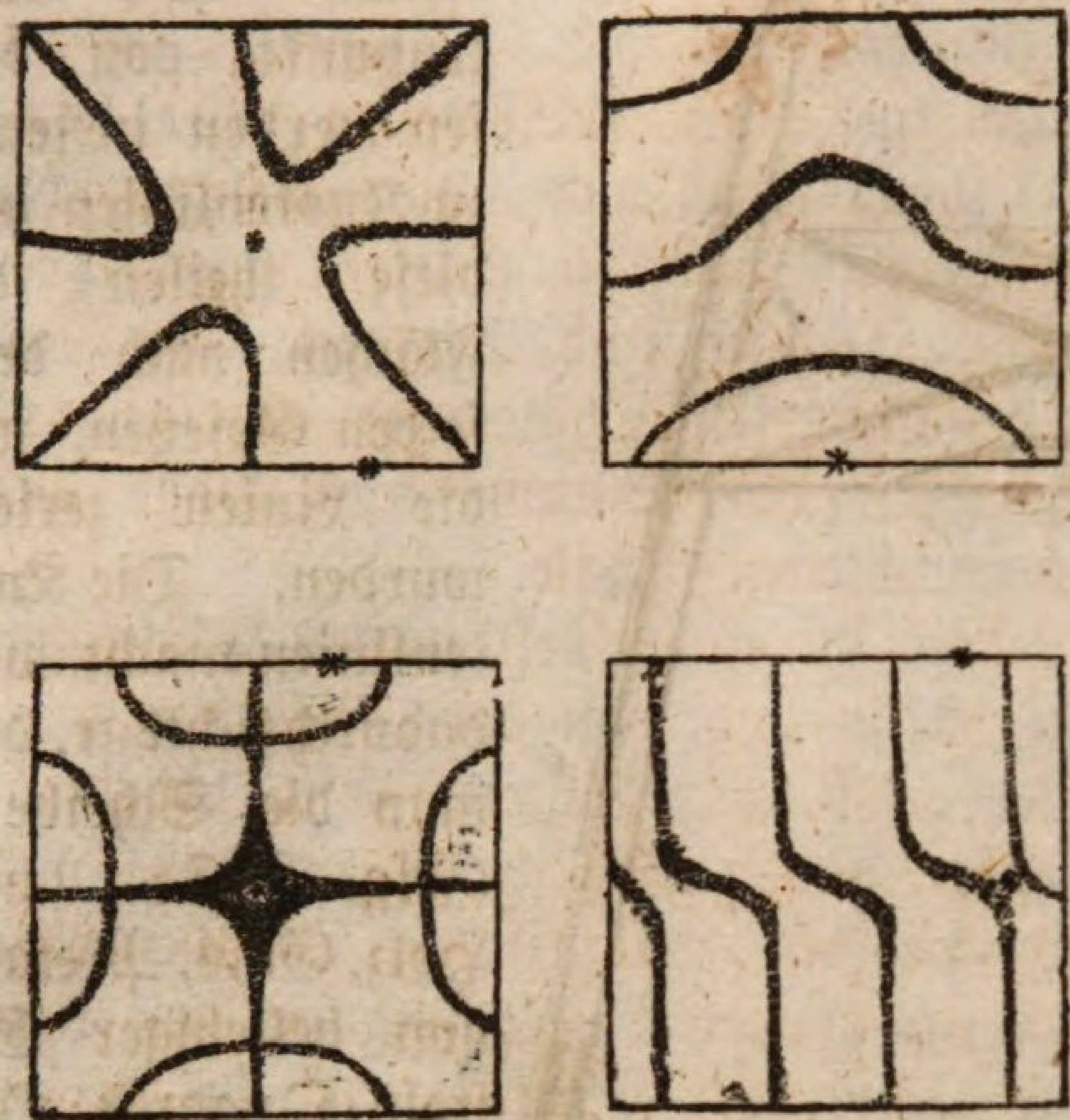
denken. Die Knotenpunkte von diesen werden in jenen zu Knotenlinien und diese theilen die Flächen nach denselben Gesetzen, wie die Linien zerlegt wurden. Die Knotenlinien macht man dadurch sichtbar, daß man die Scheibe b (Fig. 257) (aus Holz, Glas, Metall) von beliebiger Gestalt (Quadrat, Oblongum, Dreiseit, Kreis, Ellipse) mit feinem, trockenem Sande bestreut, sie etwa in ihrer Mitte mit möglichst geringer Berührung zwischen eine Schraubenzwinge a einklemmt und sie an dem matt gearbeitetem Rande mit einem Violinbogen c so anstreicht, daß ein recht klarer Ton entsteht. Der Sand wird von den schwingenden Stellen weggeworfen, lagert sich auf die ruhenden und bildet so je nach den Tönen einer bestimmten Scheibe, ihrem Materiale, der Stellen, an denen oder wie sie angestrichen oder gedämpft wird, die mannigfaltigsten **Klangfiguren**. Wenn man quadratische Tafeln bei o einspannt und bei s anstreicht, so entstehen u. a. die Figuren (Fig. 258),



(Fig. 258.)

wo die aus den Tafeln gemachten parallelen Streifen einen oder zwei Knotenpunkte haben. Fig. 1 und 2 enthält den Umfang je einer Welle, aber 3 den von vieren. Die Stellen, an welchen angestrichen wird, sind stets Bäuche; aber in 3 ist auch die Mitte des inneren Quadrates der Bauch. Fig. 259 zeigt noch vier andere Klangfiguren.

Kreiswellen. Läßt man eine Metallkugel oder dergl. auf den ruhigen Spiegel eines Gewässers fallen, so bildet sich rings um die Stelle, an welcher sie eindringt, ein über den Spiegel sich erhebender kreisförmiger Wasserkranz, ein **Wellenberg**; denn das verdrängte Wasser weicht nach oben aus, weil es dort, nämlich an der Luft, den geringsten Widerstand findet. Von dem Augenblicke an, in welchem die



(Fig. 259.)

Wassertheilchen des Berges zu fallen beginnen, machen sie nach auswärts gerichtete Schwingungen in länglichrunden Bahnen, welche auf dem Spiegel lothrecht stehen. Wenn jedes an dem früheren Spiegel mit beschleunigter Geschwindigkeit angekommen ist, setzt es mit verzögerter den Weg fort und es bildet sich an der Stelle des Wellenberges eine kranzförmige Senkung unter dem Spiegel, ein Wellenthal, welches in seiner Tiefe und Gestalt dem vorigen Wellenberge entspricht, so daß die höchsten Stellen von jenem jetzt die tiefsten von diesem sind u. s. w. Nun sind zwei Viertel der Schwingung vollendet.

Von dem Augenblicke an, in welchem der erste Wellenberg sinkt und sich das erste Wellenthal zu bilden anfängt, entsteht durch das wie auf schiefen Ebenen von der Mitte des Berges nach beiden Seiten abfließende Wasser in der Mitte, wo die Kugel einfiel, ein Hügel über dem Spiegel und nach außen ein neuer Wellenberg mit größerem Radius. Jener ist durch sein Sinken die Veranlassung zu einer zweiten selbstständigen Folge von einander verdrängenden Wellen, dieser setzt die erste Wellenbewegung nach außenhin fort.

Wenn die Wassertheilchen des ersten Wellenberges die Hälfte der Schwingung vollendet haben, also jedes an seiner tiefsten Stelle unter dem Niveau angekommen ist, hat sowohl der innere Hügel, als auch der zweite nach außen liegende Wellenberg seine größte Höhe erreicht. Sowie beide sinken, füllt sich das erste Wellenthal und zwar durch den Druck des von beiden herab sich bewegenden Wassers, so daß jedes Wassertheilchen dieses Wellenthales mit beschleunigter Geschwindigkeit bis zum Niveau und mit verzögerter bis zum höchsten Punkte, darüber hinaus gehoben wird und so die beiden letzten Viertel der Schwingung vollendet.

Wegen des Beharrungswiderstandes des ruhenden Wassers werden nicht nur an derselben Stelle die Höhen und Tiefen der Wellenberge und Thäler nach und nach kleiner, sondern auch nach außenhin in demselben Systeme. Die Ruhelage tritt endlich in der Mitte zuerst ein. Die Wellenbewegung schreitet zwar nach außenhin fort, nicht aber das Wasser, wie es ein darauf gelegtes Stückchen Holz deutlich zeigt, welches

nur Hebungen und Senkungen abwechselnd unterworfen ist, ohne daß es von dem Mittelpunkte der Wellen sich entfernt.

Zieht man Strahlen vom Mittelpunkte der Kreiswellen, Wellenstrahlen, so sind die Theile derselben, über und unter welchen die Berge und Thäler liegen, deren Breiten, und die Entfernungen ihrer höchsten und tiefsten Punkte sind ihre Höhen und Tiefen; die Entfernung der tiefsten Stellen zweier benachbarten Thäler ist die Breite der ganzen Welle und ihre Höhe ist die Summe aus Höhe und Tiefe von einem Berge und dem benachbarten Thale.

Die Höhe und Breite der Wellen in einer bestimmten Flüssigkeit sind von der Stärke der erregenden Kraft und von der Tiefe der ganzen Flüssigkeit abhängig. Je heftiger z. B. ein Sturm, desto bedeutender die Wellen; die Wellen der Ostsee haben eine geringere Höhe und Breite, als die der Nordsee, und die des atlantischen Ozeans eine größere. Der Schiffer erkennt schon in großer Entfernung an den kurzen gekräuselten Wellen die geringere Tiefe der Gewässer. Beim Meere hat die Tiefe noch einen Einfluß auf die Farbe, in welcher das Wasser erscheint; bei geringeren Tiefen ist es grünlich, bei großen blau gefärbt.

Die Geschwindigkeit des Fortschreitens einer Welle hängt von ihrer Höhe und Breite ab; sie beträgt auf offenen Meeren z. B. bei 10 Fuß Breite und 10 Fuß Tiefe 4,87 englische Meilen, bei 100000′ Breite und Tiefe aber 487,79 engl. Meilen. Die Wellen kommen öfters früher an, als der Wind, welcher sie erregte. Das Erdbeben im Golf von Yeddo führte die Welle bis nach San Franzisko.

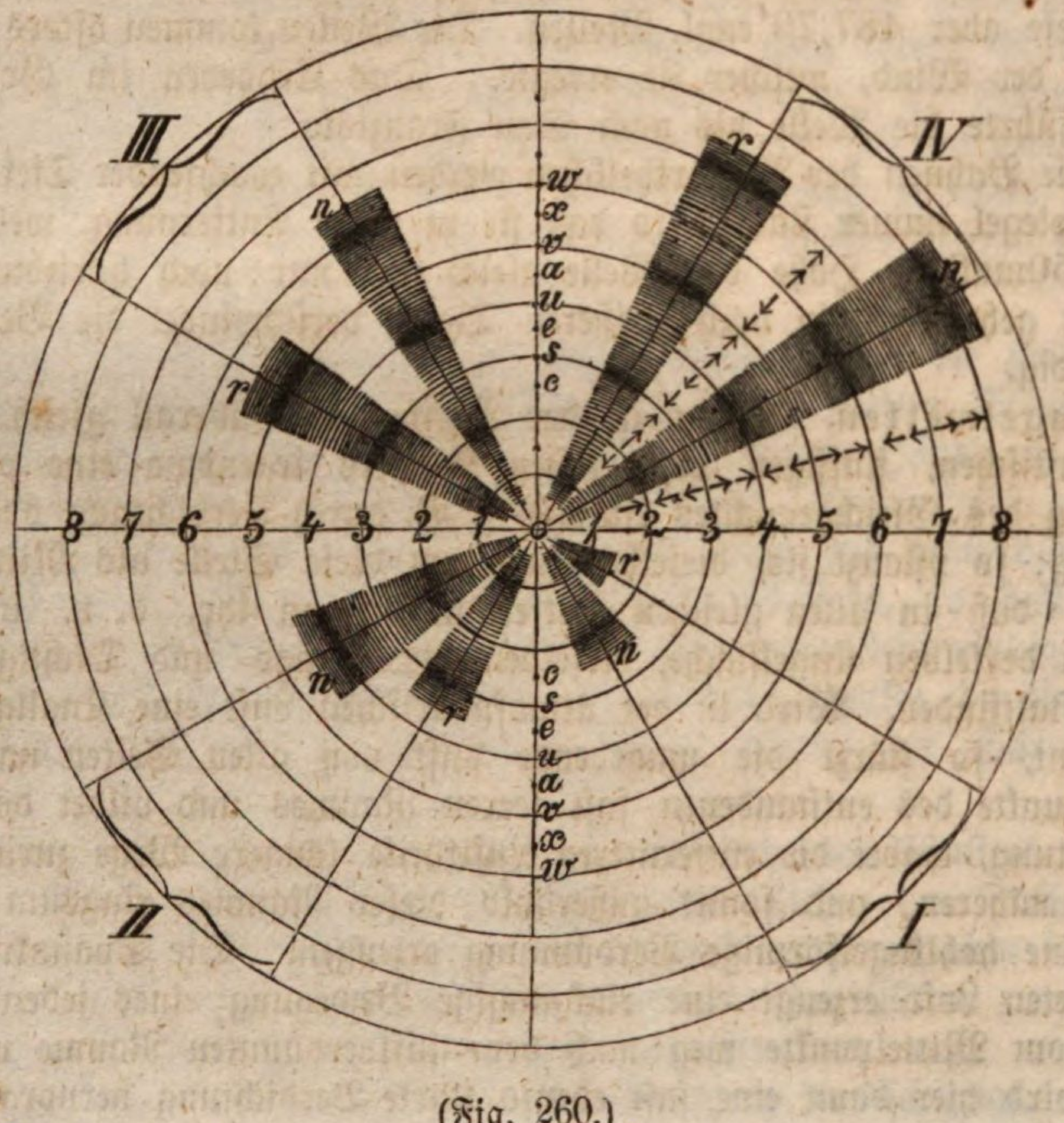
Die Bahnen der Wassertheilchen werden mit wachsender Tiefe unter dem Spiegel immer flacher, so daß sie in einer Entfernung, welche der etwa 350maligen Höhe der Welle gleich ist, nur noch horizontal hin und her gehen und in noch größeren Tiefen verschwindet die Bewegung vollständig.

Kugelwellen. Wenn in der Masse eines überall gleich dichten und elastischen, flüssigen oder festen Körpers irgendwo eine plötzliche Störung des Gleichgewichtes eintritt, z. B. durch Verdichtung oder Verdünnung; so pflanzt sich dieselbe rings um diese Stelle als Mittelpunkt so fort, daß in allen gleichen Entfernungen von ihr, d. h. in allen Punkten derselben Kugelfläche, dieselben Bewegungs- und Dichtigkeitszustände stattfinden. Wird in der atmosphärischen Luft eine Knallgasblase verbrannt, so stürzt die umgebende Luft von allen Seiten nach dem Mittelpunkte des entstandenen fast leeren Raumes und bildet dort eine Verdichtung, wobei die entfernteren Lufttheile längere Wege zurücklegen, als die näheren, und somit außerhalb dieses Raumes ringsum gleichzeitig eine hohlkugelförmige Verdünnung erzeugen. Die Spannkraft der verdichteten Luft erzeugt eine rückgängige Bewegung eines jeden Theilchens vom Mittelpunkte weg nach dem luftverdünnten Raume und dadurch wird hier dann eine fast ebenso starke Verdichtung hervorgebracht,

als sie in der Mitte stattfand. Während sich hier das Gleichgewicht durch den Widerstand der nicht zu beseitigenden Luft bald herstellt, schreitet die hohlkugelförmige Verdichtungs- und Verdünnungswelle nach außenhin fort, ohne daß ein bestimmtes Lufttheilchen mehr, als eine ganze Schwingung macht und daher hören wir auch nur einen einfachen Knall.

Ein solcher Knall kann auch hervorgebracht werden, wenn aus einem kleinen festen Körper (Schießpulver, Knallsilber) plötzlich ein luftiger von viel größerer Ausdehnung gebildet wird, welcher die umgebende Luft ringsum plötzlich verdrängt, so daß sie dann in den gebildeten Raum zurückstürzt.

Werden an einem bestimmten Orte eines Körpers wiederholt Störungen des Gleichgewichtes irgendwie hervorgebracht, so bilden sich in ihm auch wiederholt aufeinander folgende Kugelwellen. Dieses ist u. a. der Fall, wenn man eine angespannte und etwa mit einem Finger seitwärts gezogene Saite losläßt. Bei ihrem Hingange (erste Hälfte der Schwingung) verdichtet sie vor sich die Luft; bei ihrem Rückgange (zweite Hälfte der Schwingung) gestattet sie ihr die Verdünnung an derselben ersten Stelle, wobei gleichzeitig die Verdichtung nach außenhin fort-



(Fig. 260.)

schreitet. Nach Vollendung dieses ersten Stoßes ist an der ersten Stelle die erste Verdichtungs- und Verdünnungs- und an der zweiten vorwärts liegenden Stelle die erste Verdichtungswelle entstanden.

In Fig. 260 versinnlicht I den Vorgang des ersten von o ausgehenden Stoßes. Durch den Hingang von o in der Richtung or wird in 1. die Verdichtung erzeugt, durch den Rückgang ebendaselbst, wie es in on bei 1. dargestellt ist, die Verdünnung, wobei gleichzeitig in 2. die erste Verdichtung gebildet wird.

Die Folgen eines zweiten Stoßes zeigt II. Durch den Hingang wird in or die erste Verdichtung nach 3 verlegt, und bei dem Rückgange in on nach 4, während in 3 an derselben Stelle jetzt die Verdünnung ist. III zeigt in dem Strahle or den Erfolg von $2\frac{1}{2}$ und in on den von 3 Schwingungen des o und in IV ist die Darstellung auf 4 Schwingungen ausgedehnt, so daß in or der Zustand bei dem Hingange und in on der bei dem Rückgange versinnlicht ist. Die beigesetzten Pfeile geben die Bewegungsrichtung der Massentheilchen während der beiden Hälften der Schwingung an.

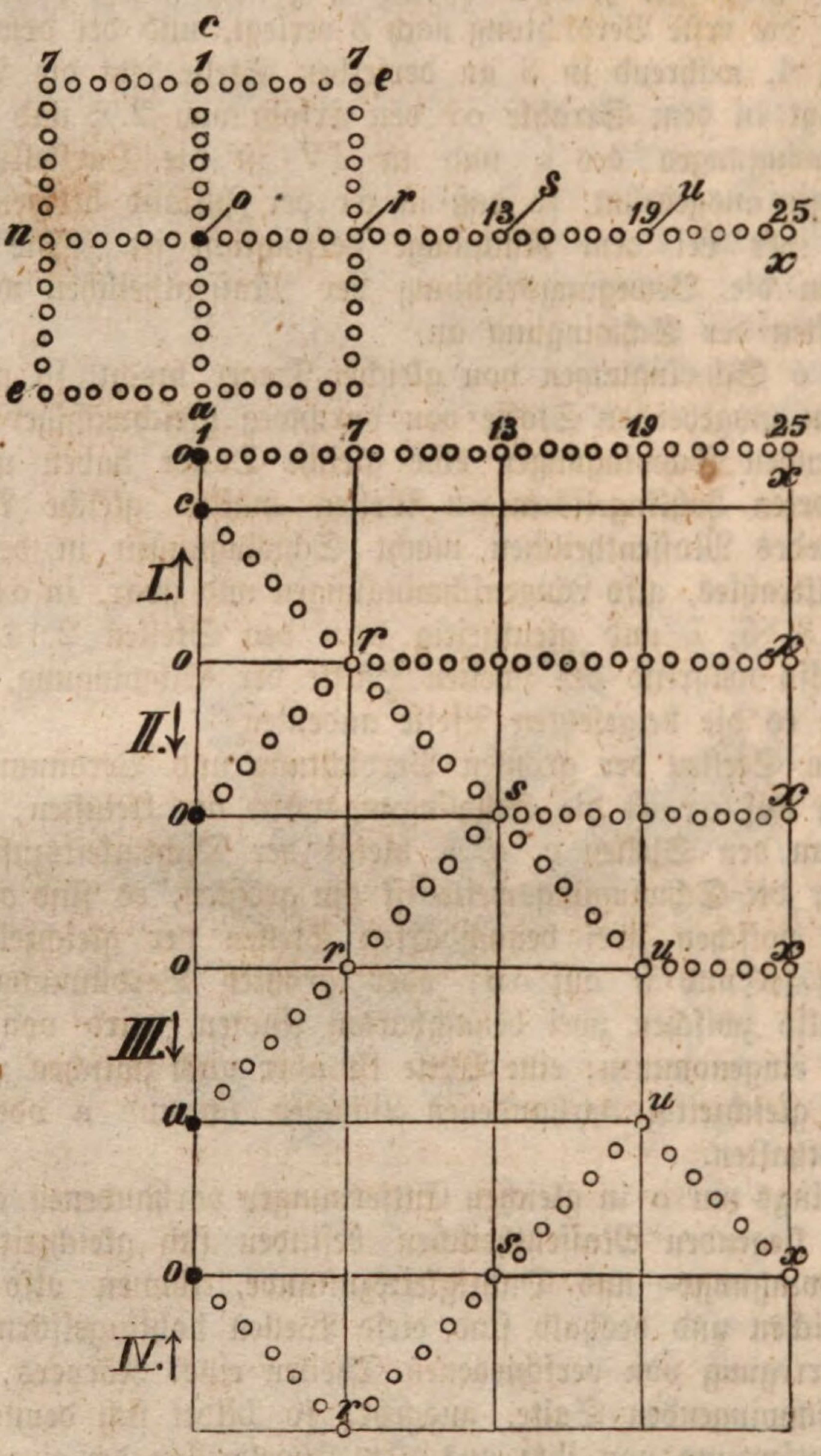
Wenn o Schwingungen von gleicher Dauer macht, so werden auch die in einem umgebenden Stoffe von durchweg gleichmäßiger Beschaffenheit entstehenden Schwingungen eine gleiche Dauer haben und die dadurch gebildeten hohlkugelförmigen Wellen müssen gleiche Abmessungen besitzen. Jedes Massentheilchen macht Schwingungen in der Richtung seines Kugelstrahles, also Längenschwingungen und zwar, in or nach den Stellen 1, 3, 5, 7 und gleichzeitig von den Stellen 2, 4, 6, 8; in on aber, also während der zweiten Hälfte der Schwingung, grade umgekehrt, wie es die beigesetzten Pfeile andeuten

An den Stellen der größten Verdichtung und Verdünnung, wie in s und in u auf or ist die Schwingungsweite am kleinsten, es sind die Knoten; an den Stellen c, e, a bleibt der Dichtigkeitszustand unverändert, aber die Schwingungsweite ist am größten, es sind die Bäuche. Der Raum zwischen zwei benachbarten Stellen der gleichzeitig größten Verdichtung (u und w auf on) oder größten Verdünnuug (s und v auf on), also zwischen zwei benachbarten Knoten, wird von einer ganzen Welle eingenommen; eine Welle ist aber auch zwischen zwei benachbarten und gleichzeitig vorhandenen Bäuchen (c und a oder e und x auf on) enthalten.

Die rings um o in gleichen Entfernungen vorhandenen also in einer Kugelfläche liegenden Massentheilchen befinden sich gleichzeitig in demselben Schwingungs- und Dichtigkeitszustande, können also seitswärts nicht entweichen und deshalb sind diese Wellen hohlkugelförmig. Wenn auch die Erregung von verschiedenen Theilen eines Körpers, wie z. B. von einer schwingenden Saite, ausgeht; so bildet sich dennoch in einer gewissen Entfernung von ihm aus allen Kugelwellen der einzelnen Punkte eine einzige Welle, deren Mittelpunkt der Halbirungspunkt der Saite

ist, da die von allen Punkten erregten Verdichtungen und Verdünnungen gleichzeitig eintreten und in einem bestimmten zusammenhängenden Stoffe auch gleichzeitig fortgepflanzt werden.

Weltätherschwingungen. Die Schwingungen des Weltäthers sind es, welche u. a. die Fortpflanzung des Lichtes und der Wärme von der Sonne aus zu unserer Erde und den übrigen Planeten und Nebenplaneten und überallhin in den Weltraum vermitteln. Es ist erst der neuesten Zeit gelungen, diese Thatsache nicht nur über allen Zweifel zu



(Fig. 261.)

erheben, sondern auch den betreffenden Untersuchungen eine Schärfe zu verleihen, welche einen hohen Triumph des menschlichen Verstandes begründet. Die Grundvorstellung zu den oft sehr verwickelten, aber ebenso interessanten Erscheinungen werden wir gewinnen, wenn wir uns den Weltäther als aus lauter außerordentlich kleinen und absolut elastischen Kügelchen bestehend denken, welche so dicht gedrängt aneinander liegen, daß sie keine anderen Zwischenräume lassen, als die, welche eben nur durch die Kugelgestalt bedingt sind. Stört eine Kraft das Gleichgewicht eines einzigen Kügelchens, so pflanzt die Störung sich auf alle übrigen augenblicklich fort.

Wir können uns die Kügelchen in Schichten mit aufeinander lothrechten Reihen gelagert denken, wovon in Fig. 261 ee eine im Innern nicht ausgefüllte Schicht und darunter eine Reihe von 25 Kügelchen dargestellt ist. Wird nun das hier in der Mitte vollgezeichnete Kügelchen durch eine bestimmte Kraft von o nach c hin bewegt, wie es I zeigt; so wird es, weil es allseitig von anderen umgeben ist, mit abnehmender Geschwindigkeit nur eine gewisse Strecke, z. B. bis c sich bewegen und dort einen Augenblick ruhen. Das zweite rechts daran gränzende Kügelchen der Reihe wird zwar dieser Bewegung folgen, aber nur auf eine kürzere Strecke und so wird jedes folgende umsoweniger weit aus seiner Ruhelage gebracht, je entfernter es ist, bis es endlich eines, hier r oder das 7te gibt, welches noch ruht, während das erste seine größte Entfernung von der Ruhelage erreicht hat. Nun ist das erste Viertel der Schwingung vollendet.

Jetzt wird c durch die Elastizität des vor seiner Bahn liegenden Aethers mit derselben Kraft nach o zurückzugehen gezwungen, mit welcher es weggedrängt wurde, so daß es in derselben Zeit wieder hier ankommt (II), wobei sich die Bewegung in der horizontalen Reihe so fortgepflanzt hat, daß das r die Gränze seines Weges erreicht, die darauf folgenden mehr und mehr zurückgeblieben sind und s oder das 13te soeben noch in Ruhe ist. Nun ist das zweite Viertel der Schwingung vollendet und dabei der Weg des r so groß, wie der des o war.

Da o in seiner ursprünglichen Lage mit einer gewissen Geschwindigkeit angekommen ist, so setzt es seine Bewegung jenseits bis zu derselben Gränze nach a fort und auch alle übrigen verfolgen einen Rückweg über ihre frühere Gleichgewichtslage hinaus, welcher dem Hinwege gleich ist, wodurch sie in die Lage III kommen und ein Fortschreiten der Bewegung von s bis u stattfindet. Das dritte Viertel der Schwingung ist vollendet.

Endlich geht o von a aus wieder in seine Ruhelage zurück (IV) und hat dann eine ganze Schwingung vollendet, r aber erst drei Viertel, s eine halbe, u nur ein Viertel und zwischen o und x ist eine ganze Welle enthalten.

Die Dauer einer Schwingung ist auch die Zeit, in welcher die Welle um ihre ganze Länge fortschreitet. Dieses Fortschreiten geschieht aber mit einer außerordentlichen Geschwindigkeit, theils wegen der absoluten Elastizität des Weltäthers, theils weil durch den Vorgang in ihm Verdichtungen und Verdünnungen in der Richtung des Fortschreitens nicht stattfinden.

Die geschilderte Wellenbewegung ist aber von o aus nicht blos in einer Richtung (Strahl), sondern in allen denkbaren von ihm ausgehenden Richtungen vorhanden. In der Schicht ee findet von o bis n dieselbe Bewegung statt, wie von o bis r und genau dieselbe gleichzeitig auch von o aus in jeder auf der Schicht ee lothrecht durch o gelegten Reihe, so daß rings um o in der Kugel mit dem Radius or das erste Viertel der Welle enthalten ist. Die ganze Welle reicht bis x. Ueberhaupt befinden sich alle Aetherteilchen, welche in irgend einer Kugelfläche liegen, zu welcher o der Mittelpunkt ist, in demselben Schwingungszustande. Die Schwingungen der Aetherteilchen finden in Beziehung auf einen bestimmten Kugelradius in allen möglichen Ebenen statt und sind Querschwingungen, während sie beim Knalle in der Luft Längenschwingungen waren.

Die sinnliche Wahrnehmung von Molekularschwingungen.

Niemand wird jetzt noch glauben, daß durch das Reiben oder Hinundherbewegen eines Körpers an einem zweiten ein neuer Stoff erzeugt werde, oder daß das Körperliche sich schaffen ließe, sondern die Ueberzeugung festhalten, daß nur der Zustand der Körper oder ihrer kleinsten Massentheilchen geändert werden kann. Bleibt der Körper als Ganzes an seinem Orte, so kann nur eine Molekularbewegung eingetreten sein oder die in der Reibung liegende lebendige Kraft ist übergetragen worden auf die Molekel und hat in ihnen eine schwingende Bewegung innerhalb sehr enger Gränzen erzeugt, da sie den Zustand des Körperganzen entweder gar nicht oder bei verhältnißmäßig sehr großen Elongationen nur den Aggregatzustand verändert.

Diese schwingenden Molekularbewegungen erzeugen je nach ihrer Beschaffenheit (Schwingungszahl, Schwingungsweite, Bewegungen der Molekel mit den Gleichgewichtspunkten, Bewegungen um diese Punkte, einfache Schwingungen, zusammengesetzte) und nach dem Wesen des Stoffes verschiedenartige sinnliche Empfindungen.

Die Reibung des geharzten Violinbogens auf der angespannten Saite erzeugt in dieser als Schall hörbare Schwingungen. Reibt man Holz oder Metall an Holz oder Stein u. dergl., so entstehen als Wärme fühlbare Schwingungen in den geriebenen Körpern. Die Massentheilchen werden durch das Reiben aus ihrer früheren Gleichgewichtslage gebracht und wollen immer wieder dahin zurückkehren, was

sie aber nach dem Beharrungsvermögen darüber hinaus fortführt, wodurch vollständige Schwingungen erzeugt werden.

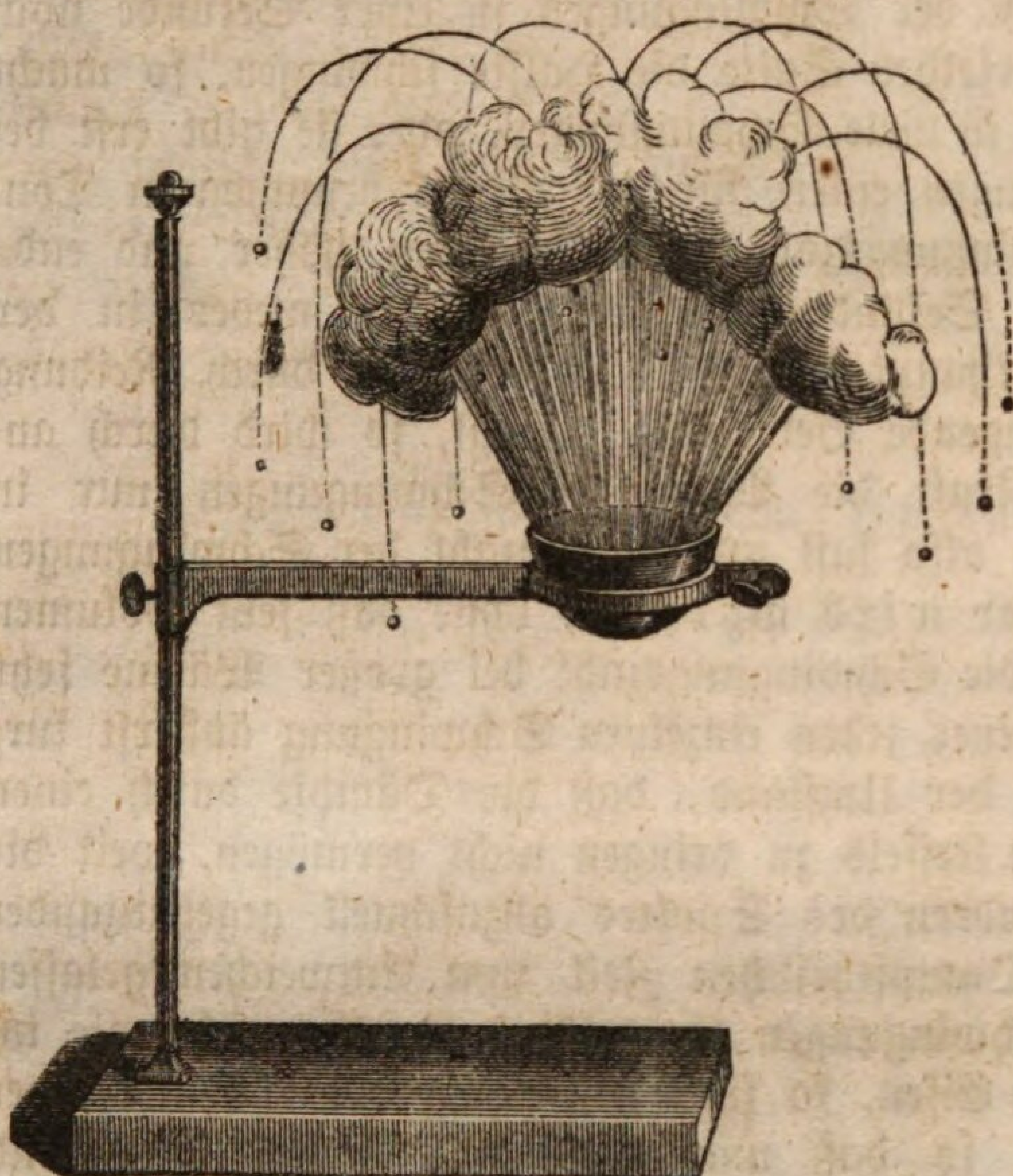
Wird ein Stück Eisen (Nagel, Messer) an einen rasch gedrehten trockenen Schleifstein gedrückt, so wird das Eisen nicht nur sehr heiß, sondern geräth in sichtbare Lichtschwingungen, indem glühende Theile von ihm in geschmolzenem Zustande abspritzen. In diesem Falle sind also fühlbare und sichtbare Schwingungen gleichzeitig vorhanden.

Es ist hier schon eine Stufenleiter in den Erscheinungen zu erkennen, indem durch Vermehrung der Anzahl von Schwingungen aus dem Schalle die Wärme und aus dieser Licht entsteht; aber weder allzulangsame, noch allzurasche Schall-, Wärme- und Lichtschwingungen sind sinnlich wahrnehmbar. Läßt man eine schlaffe Saite schwingen, so ist die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde noch zählbar. Läßt man von derselben Saite die Hälfte schwingen, so macht sie in der Sekunde doppelt so viele Schwingungen, aber sie gibt erst bei 16 Stößen oder Schwingungen einen für die Musik brauchbaren Ton. Bei Vermehrung der Schwingungszahl wird der Ton höher und endlich (etwa bei 36000 in 1 Sekunde) so hoch, daß er weder in der Musik brauchbar, noch überhaupt hörbar ist. — Wird durch Reibung in den Molekeln eine schwingende Bewegung erzeugt, so wird durch andauernde Einwirkung der Kraft die Weite der Schwingungen nur in einem sehr geringen Grade, also fast nur die Anzahl der Schwingungen vermehrt, d. h. der Körper wird wärmer, ohne daß sein Volumen sich sehr vergrößert. Daß die Schwingungszahl bei großer Wärme sehr bedeutend oder die Dauer einer jeden einzelnen Schwingung äußerst kurz sein muß, zeigt uns u. a. der Umstand, daß die Dämpfe durch einen feinen Spalt des glühenden Kessels zu dringen nicht vermögen, weil die Wassertheilchen an den Rändern des Spaltes allzuschnell gegeneinander schwingen, als daß den Dampftheilchen Zeit zum Entweichen gelassen würde. Sind die Wärmeschwingungen eines Körpers allzurasch, wie im geschmolzenen weißglühenden Eisen, so sind sie, wenigstens während einer kurzen Zeit, nicht fühlbar, so daß man ohne alle Gefahr die Hand einige Augenblicke in solches Eisen halten kann; denn die Massentheilchen kommen wegen der Kürze der Dauer einer jeden einzelnen Schwingung nicht zu einer wirksamen Berührung mit der Hand. Je schwerer ein Metall schmilzt, d. h. je größer die Wärme ist, bei welcher es in den flüssigen Zustand übergeht, desto gefahrloser ist der Versuch, weil bei vermehrter Schwingungszahl die Dauer einer jeden einzelnen um so geringer ist. In soeben schmelzendes Zinn die Hand zu stecken, ist nicht anzurathen.

Daß die Wärme in Schwingungen der Massentheile der irdischen Körper selbst besteht, kann man leicht auch erkennen, wenn man eine Eisenstange an dem einen Ende heiß macht und einen kalten Wassertropfen auf sie in die Nähe der heißen Stelle bringt; denn man sieht,

wie derselbe durch die Bewegungen des Eisens fort nach der kälteren Stelle gedrängt wird, indem die Schwingungen nach der heißeren hin eine größere Weite und Geschwindigkeit besitzen; es ist als wenn der Tropfen auf einer schiefen Ebene herabginge. Läßt man eine größere Wassermenge auf eine lebhaft glühende und genau horizontal gelegte Metallplatte fallen, so rundet sie sich an ihrer Gränze ab, weil die Schwingungsstöße ringsum dieselbe Kraft haben.

In einem lebhaft glühenden Platintiegel wird ein kalter Wassertropfen einige Zeit lang hin und her geworfen, ohne das Metall zu benetzen und ohne allmählich zu verdampfen, bis er endlich, in seinem Inneren gleichmäßig durchwärmt, in einem Augenblicke in Dampf sich verwandelt. Der leidenfrostsche Tropfen.


(Fig. 262.)

Wird ein glühender Silber- oder Platintiegel von ziemlich bedeutender Metallstärke (Fig. 262) schnell mit kaltem Wasser erfüllt, so bleibt die ganze Wassermenge anfänglich ruhig liegen, ohne daß sie an dem Metalle haftet oder dasselbe benetzt. Wenn aber der Tiegel nicht weiter erwärmt wird, so kühlt er allmählich ab, das Wasser kommt mit ihm mehr und mehr in Berührung, wodurch es erwärmt wird, und wenn jene Abkühlung und diese Erwärmung dem Kochpunkte des Wassers nahe ist, so beginnt dieses plötzlich aufzuwallen und löst sich in ganz kurzer Zeit völlig in Dampf auf.

Ganz interessant ist die Umkehrung des Versuches, indem sich dieselbe Grundanschauung über das Wesen der Wärme geltend macht. Hängt man (Fig. 263) ein eiförmiges und glühend gemachtes Stück Silber in einen Becher mit kaltem Wasser, so wird jenes nicht benetzt, wenn man es auch langsam auf- und abwärts bewegt, sondern das Wasser läßt rings um das Metall einen freien Raum. Ebenso bleiben glühende Glasmassen, welche man ins Wasser taucht und bald wieder herauszieht, trocken und springen auch nicht. Bei dem Abkühlen des Metalles findet endlich eine Berührung mit dem Wasser und eine lebhaftere unmittelbare Uebertragung der Schwingungen statt, man



(Fig. 263.)

hört ein Sausen, das Wasser beginnt zu sieden und brauset plötzlich heftig über.

Wie durch die Uebertragung einer lebendigen Kraft selbst ein kalter Körper durch einen kalten bedeutend erwärmt werden kann, davon gibt u. a. die Methode, wie man in dicke Kupferplatten die Nietenlöcher macht, ein interessantes Beispiel. Ein Stahlzapfen, welcher langsam durch eine kräftige Dampfmaschine bewegt wird, durchsticht die Platten und der herausfallende Kupferzapfen ist glühend heiß. Hier hat die langsame Bewegung einer großen Masse in einer kleinen, nämlich dem Kupferzapfen, eine sehr rasche Bewegung, zwar nicht seiner ganzen Masse, wohl aber seiner Molekel hervorgebracht. Daß aber in sehr rascher Molekularbewegung, selbst eines zarten Stoffes, auch eine große Kraft liegen muß, zeigen uns die Wirkungen des Dampfes.

Wir werden zwar erst in der Wärmelehre die besonderen, hierher gehörigen Betrachtungen anführen, aber einen Fall, welcher eine auffallende Aehnlichkeit zwischen Schall- und Wärmeschwingungen enthält, wollen wir noch erwähnen. Wenn nämlich eine Saite durch eine bestimmte Kraft zu tönenden Schwingungen angeregt worden ist und man verkürzt die Saite von dem einen Ende an; so wird der Ton ein höherer, zu welchem mehr Schwingungen gehören, als zu dem ersten. Die ursprüngliche Schwingungskraft der ganzen Saite ist nach deren Verkürzung auf einen kleineren Theil derselben beschränkt und daher wird die frühere größere

Weite der Schwingungen in eine vergrößerte Anzahl verwandelt, also der Ton ein höherer. — Ist Luft von der gewöhnlichen Temperatur (selbst im Winter) und Dichtigkeit in einem abgesperrten Raume, so können die Lufttheilchen nur Schwingungen von gewisser Weite machen, deren Anzahl für eine gewisse Temperatur eine bestimmte sein wird. Wird nun dieselbe Luft plötzlich gezwungen, einen kleineren Raum einzunehmen, so muß mit Beibehaltung der früheren Schwingungskraft die Weite der Schwingungen abnehmen, die Anzahl derselben wachsen und somit die Wärme sich vergrößern. Diese Steigerung der Wärme ist so bedeutend, daß man durch sie in einem Zylinder von etwa 5 Zoll Länge und ½ Zoll Durchmesser, einen Feuerschwamm anzünden kann, wenn die Luft nur auf ⅙ ihres Raumes schnell zusammengedrückt wird. Es ist angemessen, zu diesem Zwecke einen Zylinder von starkem Glase zu nehmen, in welchen ein Messingkolben mit einem Häkchen an seiner unteren Fläche zum Einklemmen eines kleinen Stückes Schwamm gut und ziemlich leicht beweglich paßt. Man sieht dann wie namentlich bei etwas feuchter Luft die Wasserdünste im Zylinder während des Zusammendrückens nebelartig erscheinen, indem eine augenblickliche Ueberſättigung der Luft mit Dünsten stattfindet und wie die Luft selbst leuchtend wird. Sowie der Schwamm angezündet ist, zieht man den Stempel heraus, weil sonst der Schwamm nicht sowohl wegen eines augenblicklichen Mangels an Sauerstoff, sondern wegen der allzugroßen Feuchtigkeit der Luft bald wieder verlöschen würde. Diese Vorrichtung ist das Luft- oder pneumatische Feuerzeug.

Es ist also natürlich, daß die Luft, wenn ihr gestattet ist, sich auszudehnen, wie wenn sie von der Erdoberfläche an in höhere Schichten der Atmosphäre steigt, kälter wird, weil mit zunehmender Weite die Anzahl der Schwingungen abnimmt.

Daß die Wärmeerscheinungen ihren Grund vorzüglich in der Molekularbewegung der irdischen Körper, nicht des Weltäthers haben, beweist das große Kraftmoment selbst des zarten Dampfes. Wenn ferner ein Würfel von Eisen auf einer festen Unterlage bei seiner Erwärmung im Stande ist, eine ungeheure Last zu heben, so kann das in ihm thätige Kraftmoment nur das Produkt seiner Masse und der außerordentlich großen, natürlich nicht fortschreitenden, sondern schwingenden Geschwindigkeit seiner Molekel sein.

Wird irgend ein Körper, wie die Luft oder selbst Wasser, plötzlich und kräftig zusammengedrückt oder wird er anhaltend genug gerieben, so entwickelt sich in ihm Licht. Auch hier findet nur eine Uebertragung einer lebendigen Kraft, aber auf einen Stoff von enormer Feinheit, nämlich den Weltäther, statt, welcher in noch viel raschere Schwingungen gerathen muß, als die viel massigeren Theile der irdischen Körper. Es ist keinem Zweifel unterworfen, daß der Weltäther nicht nur im Weltraume außerhalb der irdischen Körper vorhanden ist, sondern daß

er auch, wie es die Physik in der Lichtlehre nachweiset, die irdischen Körper durchdringt. Wenn also die massigen Molekel der irdischen Körper Wärmeschwingungen machen, welche kräftig genug sind, um den zarten Aether zu hinreichend raschen Schwingungen anzuregen, so sehen wir die Schwingungen als Licht, oder wir haben die Empfindung des Lichtes. Sind diese Schwingungen noch zu langsam oder schon zu rasch, so können wir sie nicht sehen; eine Thatsache, auf welche wir später zurückkommen.

Durch das Reiben werden aber nicht nur entzückende Töne, wohlthätige Wärme und belebendes Licht erzeugt, sondern auch noch andere Bewegungserscheinungen hervorgezaubert. Reibt man eine Siegellack- oder Glasstange mit einem trockenen Wollenflecke, oder streicht man mit ganz trockener Hand wiederholt über ein Stück Maschinenpapier hin, besonders während es an einer warmen Ofenkachel liegt; so zeigen diese und andere Körper ganz neue und auffallende Erscheinungen: sie ziehen andere ganz leichte Körper, wie Papierschnitzchen, Strohtheilchen, Stücke von dem Marke der Sonnenrosenstaude, an; man sieht im Dunkeln beim Anziehen einen matten Lichtschein und hört, wenn die Kraft etwas stärker hervortritt, ein Knistern; die angezogenen Körper werden dann losgelassen. Wenn das Maschinenpapier bei seiner Anfertigung über die erwärmten Zylinder schleifend gedreht wird, so zeigen diese Thatsachen sich oft recht kräftig, so daß, wenn man in die Nähe solchen Papieres einen langen Metalldraht mit kurzen Unterbrechungen hält, nicht blos an dem genäherten Ende, sondern auch an jeder Unterbrechungsstelle ein Funken erscheint, und man in der Hand sogar eine kleine Erschütterung bemerkt.

Diese und selbst noch andere im Gefolge vorhandenen Erscheinungen nennt man elektrische. Es ist auch hier keinem Zweifel unterworfen, daß die Massentheilchen durch das Reiben aus ihrer natürlichen Ruhelage in eine neue und erzwungene gebracht worden sind, in welcher sie auf andere Körper unmittelbar oder durch Zwischenstoffe, und wenn es selbst auch nur der Weltäther wäre, als Kraft, welche man Elektrizität nennt, bewegend einwirken.

Es gibt endlich Eisenerze, welche, wenn sie zu Tage gefördert worden sind, Eisen und eisenhaltige Körper anziehen, sie festhalten und es bewirken, daß auch Stahl diese Anziehung zeigt, wenn man ihn vorher mit solchem Eisenerze bestrichen oder gerieben hat.

Außer dem Eisen sind noch einige andere Körper zur Entwickelung dieser Kraft, welche man Magnetismus nennt, fähig.

Wir haben somit durch das Reiben eines Körpers an einem zweiten fünf verschiedene Erscheinungen, welche nur die Folge von fünf verschiedenen Bewegungszuständen sein können, kennen gelernt. Wir werden diese Erscheinungen in den betreffenden Abschnitten als Schwingungszustände besonderer Art, ferner den so höchst merkwürdigen Zusammen-

hang unter den verschiedenen Schwingungsarten und den Uebergang aus der einen in die andere näher untersuchen.

Wellenstrahlen.

Aus den angeführten Betrachtungen ergibt sich, daß die sinnliche Wahrnehmung der Schwingungen durch ihre Richtung in den Wellenstrahlen bedingt ist. In den Strahlen der Schallwellen finden Längenschwingungen, in denen der Lichtwellen aber Querschwingungen statt; in jenem Falle finden Stöße in der Richtung der nach dem Inneren des Ohres gerichteten Axe, in diesem aber Schwingungen in der Richtung der im Hintergrunde des Auges vorhandenen Netzhaut oder senkrecht auf der Augenaxe statt. In beiden Fällen wird der Eindruck durch die Schnelligkeit der Aufeinanderfolge der Schwingungen oder Stöße zu einem ununterbrochenen und in beiden Fällen setzen wir den Erregungsort der Wellen in die Richtung desjenigen Strahles zurück, welcher unser Organ unmittelbar trifft, ohne daß wir dadurch schon die absolute Stelle dieses Ortes, d. h. den wahren Ort und seine wahre Entfernung von uns bestimmen können. Es spricht z. B. das durch den Wald bewirkte Echo zu uns aus dem Walde, das durch den Spiegel bewirkte Bild zeigt sich uns aus dem Spiegel, während doch in beiden Fällen die Quelle der Wellenerregung woanders ist.

Die gradlinige Fortpflanzung in Wellenstrahlen findet aber nur in einem durchweg nach allen Richtungen gleichmäßig beschaffenen Stoffe statt. Sie ist uns beim Lichte in mehrfacher Beziehung von großem Nutzen. Sehen wir durch eine kleine Oeffnung in einem Metallbleche oder einem Brettchen nach einem Lichte und halten wir ein zweites Blech mit einer solchen Oeffnung dazwischen, so wird das Licht nur dann nicht verdeckt sein, wenn die grade Verbindungslinie in den beiden Oeffnungen bei ihrer Verlängerung nach der einen Richtung das Licht, nach der anderen das Auge trifft; es liegen also dann alle vier Punkte in einer graden Linie. Schon die Alten bedienten sich bei Himmelsbeobachtungen solcher Diopter n.

Weil man beim Feldmessen häufig nach ausgesteckten Stangen zu sehen hat, sind die Diopter n so eingerichtet, daß in der einen Metallschiene eine Reihe kleiner Oeffnungen in einer graden Richtung sich befinden und die Fortsetzung durch einen feinen Spalt gebildet wird, in der anderen Schiene aber der Spalt beginnt und die Oeffnungen folgen, damit man von jeder Seite aus, oder vorwärts und rückwärts, beobachten kann. Eine Stange steckt nämlich in der Richtung der Diopter n, wenn man von einer Oeffnung der einen Schiene aus durch den Spalt der andern die Stange sieht.

Hierher gehört auch das Abstecken grader Linien auf dem Felde mittelst dreier graden Stangen, das Beobachten der horizontalen

Linien beim Nivelliren (S. 179, I. Bd.), die Benutzung eines grade gespannten Fadens, Drahtes oder Haares beim Abzeichnen, ferner des Lothes von Maurern und Zimmerleuten, um Gegenstände (Mauern, Thürpfosten, Balken) lothrecht aufzustellen.

Denken wir uns, daß von einem leuchtenden Punkte aus Strahlen durch eine Oeffnung eines dunklen Körpers gehen und von einer Wand senkrecht aufgefangen werden, so erscheint ein überall gleichmäßig helles Bild, wenn andere Strahlen abgehalten werden; gehen aber die Strahlen von einem leuchtenden Gegenstande mit größerer Ausdehnung, so entsteht ein Kernlichtbild, welches von allen leuchtenden Punkten Licht empfängt, und um dasselbe noch ein Halblichtbild, welches nur von einem Theile des Körpers das Licht bekommt. Je größer die Oeffnung, desto mehr verlchwimmen diese Lichtbilder ineinander und werden so nach und nach ganz unkenntlich, so daß man z. B. durch ein Fenster in einer Stube die Bilder von den äußeren Gegenständen nicht erhält.

Hat man daher in einem dünnen Metallbleche, welches in dem Fensterladen eines ganz verfinsterten Zimmers angebracht ist, eine kleine Oeffnung, so bilden sich in dieser dunklen Kammer (Camera obscura) die außerhalb befindlichen und gut beleuchteten Gegenstände sehr deutlich ab; bewegen sich dieselben, so geben auch die Bilder diese Bewegung wieder, was ein lebenvolles und angenehmes Gemälde darstellt. Aus dem leicht zu verfolgenden Gange der Strahlen läßt sich entnehmen, daß die Bilder verkehrt erscheinen müssen. Welche Mittel zu ihrer Umkehrung und schärferen Darstellung angewendet werden müssen, wird später angeführt werden, wenn wir die optischen Instrumente betrachten.

In der gradlinigen Verbreitung des Lichtes liegt der Grund, daß unser Gesichtssinn mancherlei Täuschungen ausgesetzt ist und daß wir häufig unser Urtheil zuhilfe nehmen müssen, wenn auch wegen der steten Uebung gewissermaßen unbewußt, um das Wahre zu erkennen. Diese Täuschungen beziehen sich auf den Ort, die Größe, Entfernung und Bewegung.

1) Unser Auge versetzt einen Gegenstand (oder Punkt des Gegenstandes) stets an eine Stelle derjenigen graden Linie, welche als Verlängerung des das Auge unmittelbar treffenden Strahles erscheint, und bezieht den Ort des Gegenstandes auf die Stelle eines vorhandenen Hintergrnndes, welche von dem verlängerten Strahle getroffen wird. Diese Stelle heißt der scheinbare oder optische Ort des Gegenstandes. Dadurch sind wir aber noch nicht in den Stand gesetzt, die wirklich von dem Gegenstande eingenommene Stelle, d. h. den wahren Ort, angeben zu können. Lassen wir uns z. B. in einiger Entfernung vor das eine Auge mitten in der Stube oder im Freien, während das andere Auge geschlossen ist, einen Fingerring so an einem Faden halten,

daß die Oeffnung verdeckt ist, so werden wir mit einem krumm gebogenen Stöckchen die Oeffnung eher verfehlen, als treffen.

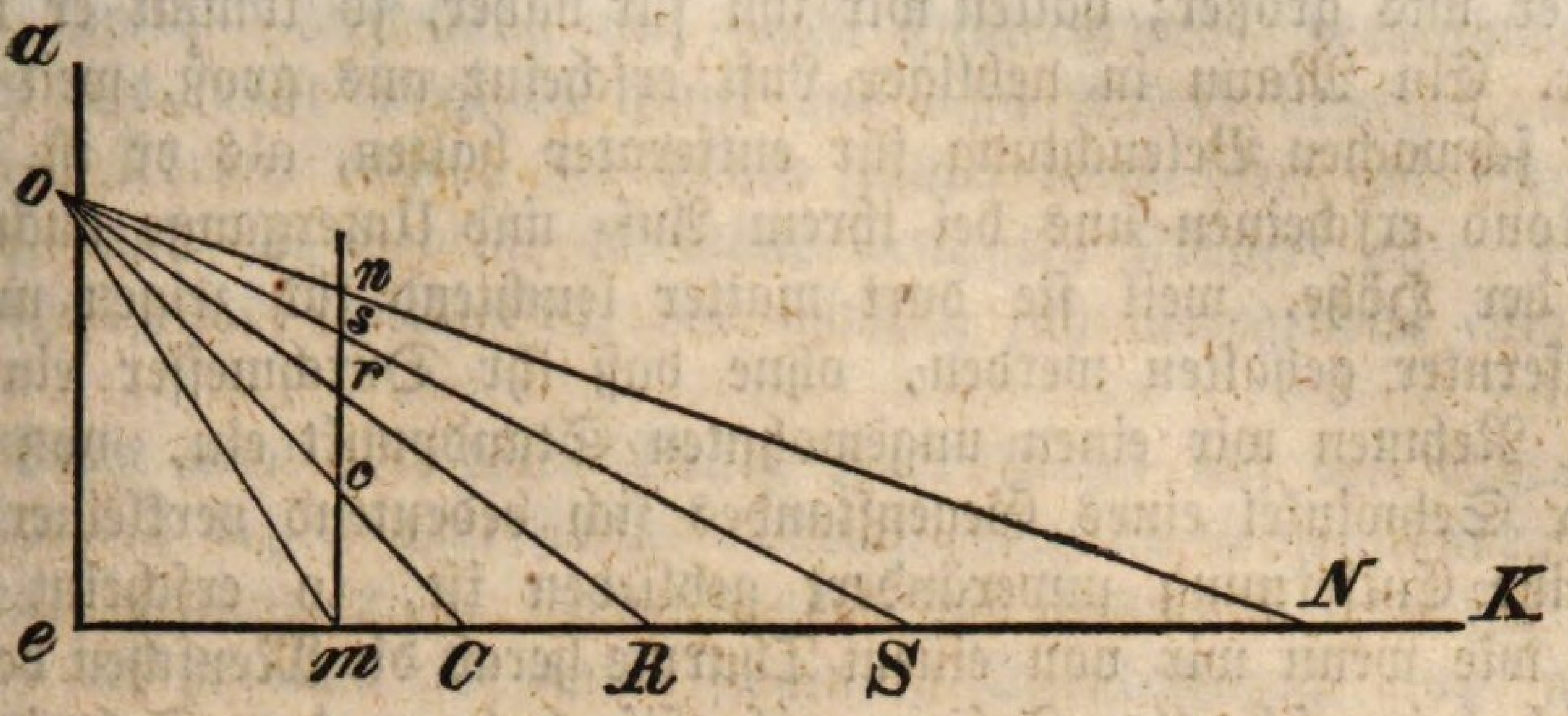
2) Ebensowenig können wir Entfernungen sehen oder hören, sondern nur aus begleitenden Umständen beurtheilen und werden daher auch nicht selten getäuscht. Schwachen Kanonendonner setzen wir in eine große, starken in eine kleine Entfernung; von einem uns matt erscheinenden Berge meinen wir, daß er entfernt, von einem sich klar darstellenden, daß er nahe ist. In beiden Fällen können wir getäuscht werden: in jenem z. B. durch die Beschaffenheit der Pulverladung, in diesem durch den Zustand der Atmosphäre; denn ein Berg wird uns bei klarer Luft oder bei Schneebeleuchtung näher erscheinen, als bei trüber, wenn wir auch unsere Entfernung von ihm gar nicht geändert haben. Erlangen Blindgeborne die Fähigkeit zu sehen, so haben sie anfänglich ebensowenig einen richtigen Begriff von Entfernungen, als kleine Kinder, welche auch nach solchen Gegenständen langen, welche sie wegen ihrer bedeutenden Entfernung nicht greifen können.

Die Aehren eines Kornfeldes, die Baumstämme am Saume eines Waldes scheinen in derselben Fläche zu liegen, die Gestirne wie an einer Hohlkugel angeheftet zu sein, und daher pflegen wir im letzten Falle von einer Himmelskugel zu sprechen.

Je weiter Gegenstände von uns entfernt sind, desto eher erscheint ihre Entfernung gleich, weil die Unterschiede der Ungleichheit ihrer Entfernungen in Beziehung auf die ganzen Entfernungen mehr und mehr als verschwindend klein erscheinen.

Weil die Gestirne am Horizont wegen des längeren Weges ihrer Strahlen durch die Atmosphäre matter erscheinen, setzen wir sie in größere Entfernung, als die dem Zenith oder Scheitelpunkte näheren und daher halten wir die Himmelskugel für abgeplattet — Tritt man ans Meer, so scheint sich sein Niveau zu erheben (hohe See), ebenso der Fußboden eines langen Saales, von dessen Decke aber glaubt man, daß sie herabgehe; die Bäume einer Allee scheinen mit zunehmender Entfernung einander näher zu kommen; die Sonnenstrahlen, welche durch Wolkenlücken dunstreiche Luft beleuchten, scheinen von den Wolken an auseinander zu gehen, gleichgiltig, ob die Sonne über oder, wie es bei ihrem Untergange stattfinden kann, unter der Wolke steht. Dies ist das sogen. Wasserziehen.

Hierher gehört auch die Erscheinung der optischen Zerrbilder oder optischen Anamorphosen. Auf einer im Durchschnitte dargestellten Ebene ek (Fig. 264) sei ein Gegenstand nm, z. B. eine menschliche Figur in richtiger Zeichnung aufgestellt. Ist nun in e noch ein dünnes Brettchen mit einer kleinen Oeffnung o angebracht, sind von o aus nach verschiedenen Punkten der Figur, wie nach n, s, r, c die Verbindungslinien gezogen, dieselben bis an die Ebene ek verlängert und wird endlich auf die Ebene ek zwischen m und N die Figur so gezeichnet, daß



(Fig. 264.)

die Punkte C, R, S, N u. s. w. der Zeichnung die Punkte c, r, s, n u. s. w. der Figur darstellen; so erkennt das Auge in o bei einiger Angewöhnung aus der verzerrten Zeichnung auf der Ebene die natürliche Gestalt der Figur. Man kann die verzerrte Zeichnung auch auf einer seitwärts von der Oeffnung angebrachten Wand anbringen. Was von einer einzelnen Figur gilt, läßt sich auch von einer ganzen Gruppe sagen.

3) Auch die Größe eines Gegenstandes können wir als solche nicht unmittelbar sehen. Ein vor das Auge gehaltener Finger ist nicht nur im Stande, einen entfernteren Baumstamm oder ein noch entfernteres Haus, sondern bei größerer Nähe desselben am Auge noch viel größere Gegenstände in größerer Entfernung zu bedecken. In je größere Entfernung ein Gegenstand vom Auge gehalten wird, desto kleiner erscheint er. Seine dem Auge sich darstellende Größe hängt von dem Winkel ab, welchen die von dem Auge bis an die äußersten Punkte des Gegenstandes gehenden graden Linien bilden. Dieser Winkel, welcher mit zunehmender Entfernung des Gegenstandes abnimmt, heißt daher auch die scheinbare Größe des Gegenstandes oder der Sehwinkel. Den meisten Augen verschwindet ein Gegenstand, wenn der Sehwinkel kleiner als 40 Sekunden oder wenn die Entfernung desselben etwa 5000mal größer, als sein Durchmesser ist. Bei starker Beleuchtung kann der Winkel wohl bis zu 30 Sekunden abnehmen. Die wahre Größe eines Gegenstandes, z. B. der Gestirne, ist von der scheinbaren Größe und von der wahren Entfernung abhängig und läßt sich daraus berechnen; wenn man sie blos durch das Auge beurtheilt, so ist dies das Augenmaß. Man kann aber auch in gleicher Weise aus der bekannten Größe eines Gegenstandes und seinem Sehwinkel die Entfernung bestimmen. Für diesen Zweck hat man auch besondere Instrumente erfunden, welche Abstandsmesser oder Distanzmesser heißen.

Wir sind in Betreff der wahren Größe auch vielen Täuschungen ausgesetzt, welche mit denen über die Entfernungen zusammenhängen. — Halten wir einen Gegenstand für entfernter, als er wirklich ist, so er-

scheint er uns größer; halten wir ihn für näher, so kommt er uns kleiner vor. Ein Mann in nebliger Luft erscheint uns groß, weil wir ihn bei der schwachen Beleuchtung für entfernter halten, als er ist. Sonne und Mond erscheinen uns bei ihrem Auf- und Untergange auch größer, als in der Höhe, weil sie dort matter leuchtend sich zeigen und somit für entfernter gehalten werden, ohne daß ihr Durchmesser ein anderer ist. — Nehmen wir einen ungewohnten Standpunkt ein, von welchem aus der Sehwinkel eines Gegenstandes sich bedeutend verkleinert, wenn auch seine Entfernung unverändert geblieben ist, so erscheint er uns kleiner, wie wenn wir von einem Thurme herab die Menschen betrachten. Weil sich beim schnellen Fahren auf Eisenbahnen der Sehwinkel verkleinert und man auch einen höheren Beobachtungspunkt einnimmt, so erscheinen uns entfernte Rinder, Pferde u. a. auffallend klein. Bemerkenswerth ist noch, daß die in grader Richtung unter einem bestimmten Winkel auf die Bahn zugehenden parallelen Furchen und Beete eines Ackers gekrümmte Linien zu bilden scheinen, weil die entfernteren Stellen solcher Linien ihre Lage gegen den Beobachter weniger schnell ändern, als die ihm näheren, welche um so rascher dem Blicke enteilen, also nach hinten gehen, je näher sie ihm liegen.

Wir erlangen unter Berücksichtigung aller begleitenden Umstände durch die Erfahrung und häufige Uebung eine gewisse Fertigkeit in der Beurtheilung der wahren Größe und Entfernung der betrachteten Gegenstände. Können wir z. B. einen Menschen in großer Entfernung noch erkennen, so halten wir ihn doch nicht für wesentlich kleiner, als er ist; finden wir seine scheinbare Größe größer, als die eines Hauses, so werden wir ihn in eine kleinere Entfernung setzen, als das Haus; wir werden erkennen, ob ein entferntes Pferd groß oder klein ist. Die Erleuchtungsstärke und die Menge und Beschaffenheit der dazwischen liegenden Gegenstände unterstützen unser Urtheil.

Wenn Gegenstände, welche in verschiedenen Ebenen und Entfernungen vom Beobachter sich befinden, auf einer einzigen Ebene so dargestellt sind, daß wir beim Anblicke dieser Darstellung jeden einzelnen Gegenstand nach seiner Lage gegen die anderen, sowie nach seiner Größe und der Beleuchtungsstärke an seinen wahren Ort versetzen; so nennt man diese Darstellung eine perspektivische. Es ist dabei nothwendig, daß auch die Theile jedes einzelnen Gegenstandes diesen Bedingungen entsprechen. Damit jeder Körper mit allen seinen Theilen plastisch, d. h. wirklich körperlich, aus der Ebene hervortrete, ist eine richtige Schattengebung vorzüglich wichtig.

4) Von den Täuschungen in Beziehung auf die Bewegung und Ruhe der Körper, welche wir früher (Bd. I. S. 37) schon im Allgemeinen besprochen haben, können wir noch anführen, daß sie dann eintreten, wenn wir entweder uns selbst in Ruhe befinden und eine recht gleichmäßige Bewegung eines anderen Körpers ohne Benutznng seines

optischen Ortes (Beziehung auf einen Hintergrund) beobachten, oder wenn wir uns selbst möglichst sanft und ohne Anstoß bewegen, während die anderen Körper ruhen. In beiden Fällen verwechseln wir Ruhe mit Bewegung und legen dem scheinbar bewegten Körper eine Richtung der Bewegung bei, welche der des wirklich sich bewegenden entgegengesetzt ist.

a) Sieht man von einer Brücke starr hinab auf den dahin eilenden Fluß, auf dessen Oberfläche vielleicht einzelne Gegenstände, z. B. Eisschollen, schwimmen, so scheint man selbst stromaufwärts sich zu bewegen. — Sitzt man in einem stehenden Eisenbahnzuge, an welchem dicht vorüber ein anderer fährt, so daß also eine Beziehung auf seinen optischen Ort nicht möglich ist; so scheint dieser zu ruhen und jener entgegengesetzt sich zu bewegen.

b) Fährt man auf glattem Wasserspiegel stromabwärts, so scheinen die nahen Ufer stromaufwärts sich zu bewegen, wozu uns ihre veränderte Lage gegen einen entfernten Hintergrund, welcher als feststehend angesehen werden kann, noch besonders Veranlassung gibt. — Wir fahren auf unserer Erde ohne den geringsten Anstoß im Weltraume einher, glauben daher zu ruhen und die scheinbare Himmelskugel in einer entgegengesetzten Bewegung begriffen.

Durch Hohlspiegel ist man im Stande, Luftbilder von Gegenständen darzustellen, dieselben auf einer durchscheinenden Wand aufzufangen und auf ihr allmählich größer oder kleiner werden zu lassen. Einem sich jenseits der Wand befindlichen Zuschauer werden die Bilder in jenem Falle näher zu kommen, in diesem sich von ihm zu entfernen scheinen, was bei einer guten Darstellung einen höchst überraschenden, zauberhaften Eindruck macht.

Fortpflanzungszeit von Schwingungen.

Wenn Schwingungen an irgend einem Orte eines Körpers oder Stoffes durch eine Kraft erregt werden, so sind dieselben nicht auch gleichzeitig schon an einem anderen Orte vorhanden, denn es bedarf stets einer gewissen Zeit, um den Beharrungszustand anderer Stofftheile zu verändern. Die Schnelligkeit, mit welcher dieses geschieht, hängt theils von dem Wesen des Stoffes, theils von der Natur der Schwingungen ab: je elastischer der Stoff ist und je weniger durch die Schwingungen seine Dichtigkeit verändert wird, desto schneller wird unter übrigens gleichen Umständen die Fortpflanzung geschehen.

Sieht man Jemanden in größerer Entfernung ein Feuergewehr abschießen, so hört man den Knall später, als man das Aufblitzen des verbrannten Pulvers erkennt; also bedarf der Schall einer längeren Zeit, als das Licht, um dieselbe Entfernung in demselben Stoffe, nämlich der Luft, zurückzulegen.

1) Fortpflanzung des Schalles. Hat man zwei sehr genau übereinstimmende Chronometer, so ergibt sich, daß das Licht einen meilenweiten Weg ohne eine meßbare Geschwindigkeit zurücklegt. Wir können demnach mit einem Knall verbundene Lichtsignale, wie sie durch das Abschießen einer Kanone gegeben werden, benutzen, um die Geschwindigkeit des Schalles in der Atmosphäre zu bestimmen. Man wählt zwei erhöhte und einander sichtbare Standpunkte A und B zu den Kanonen, mißt deren Entfernung genau und verabredet das abwechselnde Abschießen derselben in bestimmten Augenblicken und während es möglichst vollkommen windstill ist. Betrüge die Entfernung 10300 Fuß und vergingen von dem Erscheinen des Blitzes bis zum Hörbarwerden des Knalles grade 10 Sekunden, so wäre die Geschwindigkeit des Schalles 1030 Fuß. Um die nicht zu vermeidenden Beobachtungsfehler möglichst unschädlich zu machen, nimmt man aus einer größeren Reihe von Beobachtungen das Mittel.

Würde in A das Signal gegeben und ginge der Wind von A nach B, so würde er die Geschwindigkeit des Schalles um seine eigene vergrößern und ginge er von B nach A, so würde er sie um dieselbe vermindern. Wird bei einer bestimmten Windrichtung abwechselnd von A und B aus signalisirt, so ist das Mittel aus den zwei Beobachtungszeiten die Zeit, welche der Schall bei Windstille zur Zurücklegung der Entfernung AB gebrauchen würde, denn um wieviel der Wind die Geschwindigkeit des Schalles in dem einen Falle vergrößert, um ebensoviel verkleinert er sie in dem anderen.

In der trockenen Luft von Null Grad Wärme beträgt die Geschwindigkeit bei allen Dichtigkeiten gegen 1024 pariser Fuß, weil bei einer bestimmten Temperatur die Dichtigkeit in gradem Verhältnisse mit der Spannkraft steht; wenn aber die Wärme zunimmt, so wächst für jeden Grad die Geschwindigkeit um 2,4 Fuß. In feuchter Luft ist die Geschwindigkeit größer, als in trockener und die leichteren Luftarten pflanzen den Schall schneller fort; Wasserstoff fast viermal schneller, dagegen die schwereren, wie Sauerstoff und Kohlensäure, langsamer.

Wenn man eine Sekundenuhr hat oder den Zeitraum einer Sekunde aus der Erfahrung beurtheilen kann, vielleicht mittelst der Pulsschläge, so läßt sich annähernd bestimmen, wie weit z. B. ein Gewitter, eine abgeschossene feindliche Kanone u. dergl. entfernt ist.

Wenn man auf den Wasserspiegel eines tiefen Brunnens, wie etwa auf der Festung Königsstein in Sachsen, einen Gegenstand auffallen sieht, so kann man aus der Zeit, nach welcher man den Schlag hört, die Tiefe beurtheilen. Es kann auch geschehen mit Berücksichtigung der Zwischenzeit vom Augenblicke des Fallenlassens bis zum Hören des Schlages.

Wellendicke. Die Geschwindigkeit der Wellenfortpflanzung setzt uns in den Stand, die Wellendicke (Wellenlängen) zu bestimmen. Macht

eine Saite in einer Sekunde 16 Stöße von gleicher Dauer, so erzeugt sie in dieser Zeit um ihren Mittelpunkt in der Luft 16 Kugelwellen, von denen jede aus einem verdichteten und einem verdünnten Theile besteht und der Anfang der ersten von ihr erzeugten Welle ist am Ende des letzten Stoßes, also nach dem Verlaufe von 1 Sekunde, grade um 1024 = 32 . 32 Fuß fortgeschritten, so daß der ganze Zwischenraum bei der gleichmäßigen Geschwindigkeit des Fortschreitens mit 16 ganzen Wellen von gleicher Dicke erfüllt ist. — Heißt der vom Schalle in einer Sekunde zurückgelegte Weg oder seine Geschwindigkeit g, ist die Zahl der Wellen z und die Dicke jeder einzelnen d; so ist die Geschwindigkeit des Schalles ein Produkt aus z und d, oder $g = z \cdot d$; also wird die Dicke d einer jeden Welle gefnnden, wenn man g durch z dividirt nnd ist für dieses Beispiel 16 : 32 . 32 = 64 Fuß und die Anzahl der Schwingungen wird gefunden, wenn man g durch d dividirt. Die erstere Betrachtung ($g = z \cdot d$) ist besonders wichtig zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Körpern und die letzte $\left(z = \frac{g}{d}\right)$ für die Ermittelung der Schwingungszahlen, auch des Lichtes, da ja diese Betrachtungen für alle Arten von Wellen gelten.

Wenn die Töne eines Klavieres in einer kalten Stube höher sind, also zu weniger dicken Wellen gehören, als in einer warmen; so liegt dies vorzüglich darin, daß die Kälte die Saiten verkürzt, wodurch sie schneller schwingen und höhere Töne geben, nicht aber darin, daß die kalte umgebende Luft den Ton bei der Fortpflanzung erhöht. Nur wenn die Luft in Pfeifen selbst tönt, ist die Temperetur derselben von Einfluß auf die Höhe der Töne, aber so, daß wärmere Luft, welche den Schall schneller fortpflanzt, höhere Töne gibt. Wenn also z. B. eine Flöte in und mit kalter Luft zu anderen Instrumenten stimmt, so wird sie bei ihrer Erwärmung durch den Gebrauch zu hoch tönen.

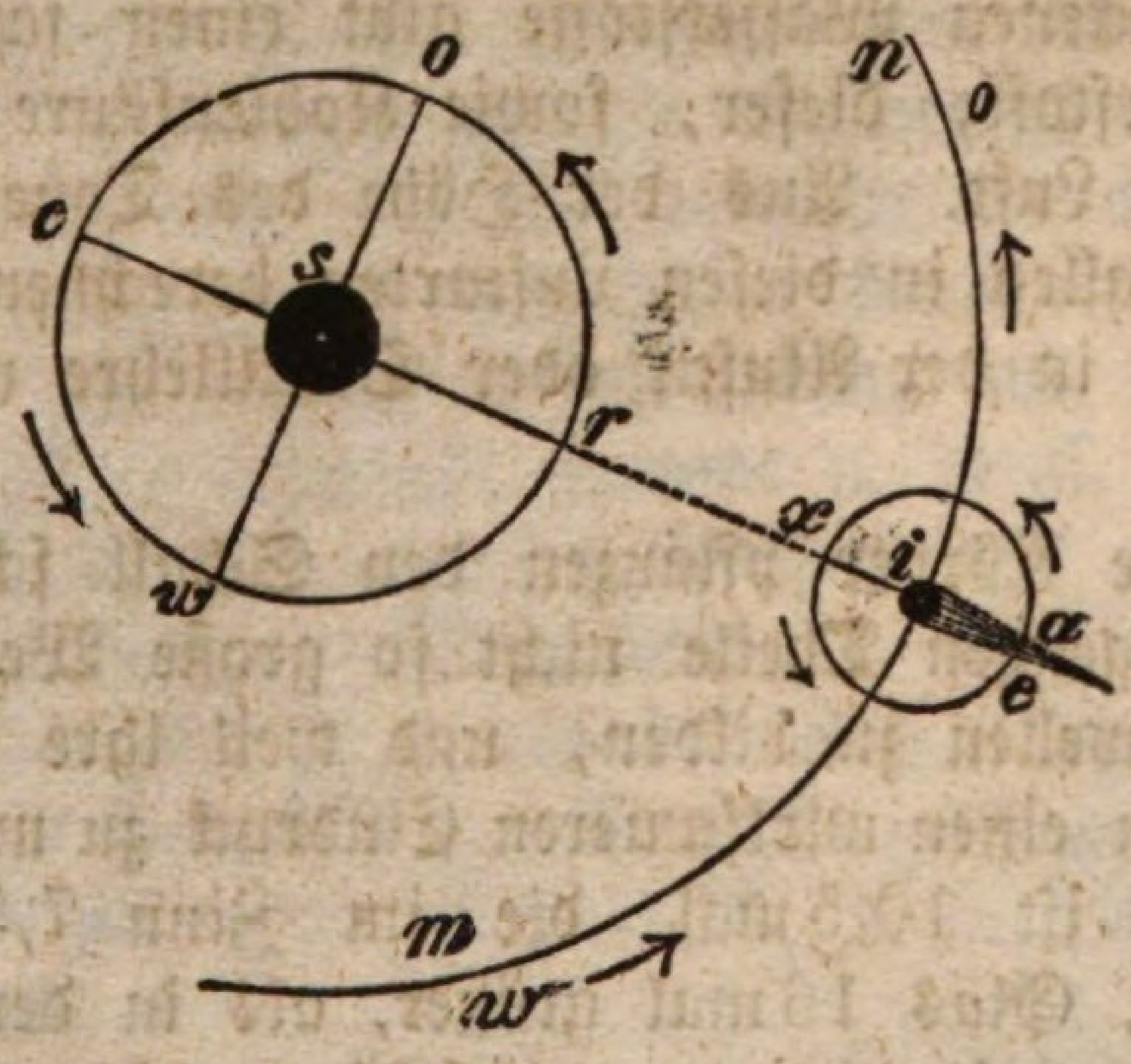
Eine Pfeife mit reinem trockenen Wasserstoffe gibt einen fast eine Oktave höheren Ton, als Sauerstoff; dieser, sowie Kohlensäure einen tieferen Ton, als atmosphärische Luft. Aus der Höhe des Tones läßt sich die Geschwindigkeit des Schalles in diesen Luftarten berechnen, wie wir bei Betrachtung der Pfeifen in der Akustik oder Schalllehre werden näher anführen.

Tropfbar flüssige und feste Körper pflanzen den Schall schneller und stärker fort, weil die schwingenden Theile nicht so große Wege zurückzulegen brauchen, um Schallwellen zu bilden, und weil ihre Theile massiger, also geeigneter sind, um einen wirksameren Eindruck zu machen. Die Geschwindigkeit im Wasser ist 10,5 mal, die im Zinn 7,5, im Silber 9, Eisen 10, Kupfer 12, Glas 16 mal größer, als in der Luft. Sind die Körper nicht stabförmig, sondern von allseitig größerer Ausdehnung, so ist die Geschwindigkeit und Stärke noch größer. Es ist

deshalb nicht zu verwundern, daß der Kanonendonner bei der Belagerung von Antwerpen im Jahre 1830 bis in den Harz vernommen wurde. — Einen silbernen Löffel, welcher in die Mitte eines Fadens gebunden ist, dessen Enden in die Ohren oder mit den Zähnen gehalten werden, hört man sehr stark tönen, wenn man ihn mit einem Schlüssel sanft anschlägt. Im Genfer See wurde der Schall einer 10 Zentner schweren Glocke bis auf eine Entfernung von 3500 Metern gehört.

Verschiedene Schalle, z. B. verschiedene Töne, pflanzen sich in demselben Stoffe von überall derselben Beschaffenheit mit derselben Geschwindigkeit fort, wie es z. B. bei Konzerten wahrgenommen wird. Diese gleichmäßige Fortpflanzung macht allein also den Genuß einer Musik möglich.

2) Fortpflanzung des Lichtes. Wenn es auch scheint, daß das Licht zur Fortpflanzung auf irdische Entfernungen keiner Zeit bedürfe, so haben uns doch die überirdischen Lichterscheinungen das Gegentheil gelehrt. Zu dem Jupiter gehören vier Monde, welche ihn fast in der Ebene, in welcher die Erde um die Sonne geht, umkreisen, so daß sie stets in einer graden Linie zu stehen scheinen, die durch den Mittelpunkt des Planeten geht. Da dieser sehr groß ist und die Monde ihm sehr nahe stehen, so treten letztere bei jedem ihrer Umläufe auf der Westseite des Planeten in seinen von der Sonne bewirkten Schatten und werden für uns einige Zeit unsichtbar, bis sie nach einiger Zeit auf der Ostseite wieder hervortreten. Behielte die Erde stets dieselbe Entfernung von dem Jupiter, so würden die Ein- und Austritte eines bestimmten Mondes stets in denselben Zwischenzeiten erfolgen, möchte das Licht zu seiner Fortpflanzung einer Zeit bedürfen oder nicht; da aber die Erde in gewissen Punkten ihrer Bahn sich rasch von dem Jupiter entfernt, in anderen rasch sich ihm nähert, und in jenem Falle die Ein- und Austritte des Mondes später, in diesem aber früher sich zeigen; so ist dies ein Beweis davon, daß das Licht einer Zeit bedarf, um uns diese Ereignisse anzuzeigen.



(Fig. 265).

Fig. 265 wird den Vorgang deutlich machen. s bedeutet den Mittelpunkt der Sonne, cwro die Bahn der Erde in der Richtung der Pfeile von Westen nach Osten um sie; i den Mittelpunkt des Jupiter, mn ein Stück seiner westöstlichen Bahn um die Sonne und xea

die ihrer Richtung nach durch die Pfeile bezeichnete Bahn seines nächsten Mondes um ihn. Ist die Erde in c (die Sonne also mit dem Jupiter in Konjunktion) oder in r (die Sonne und Jupiter in Opposition), so ist ihre Bahn so ziemlich gleichlaufend mit der des Jupiter und beide Planeten behalten während einiger Tage so ziemlich dieselbe Entfernung von einander, so daß die Zeiten des Ein- und Austrittes eines Jupitermonden in einigen Tagen sich nicht bedeutend ändern: der nächste vollendet seinen Umlauf in 42 Stunden 28 Minuten und 35 Sekunden. Ist aber die Erde in w (ein Vierteljahr später, als sie in c war), so nähert sie sich dem Jupiter sehr rasch: in jeder Sekunde um 3,98 Meilen (täglich um 343872 M.); ist sie in o (drei Vierteljahre später), so entfernt sie sich sehr rasch von ihm; weil in beiden Fällen ihre Bahn auf der des Jupiter ziemlich senkrecht steht. In jenem Falle treten die Verfinsterungen des Mondes bei e um 14 Sekunden früher, in diesem das Erscheinen desselben bei a um ebensoviel später ein, als es die Beobachtungen bei c und r ergaben. Ist die Erde in w, so sieht man den Mond bei a, also auf der Ostseite (links vom Jupiter) aus dem Schatten treten; ist die Erde in o, so sieht man ihn bei e, also auf der Westseite (rechts vom Jupiter) in den Schatten treten.

Wenn die mittlere Geschwindigkeit der Erde zu 3,98 Meilen angenommen wird, so legt sie während der Zeit (42 St. 28 M. 35 Sek.) des Umlaufes des nächsten Mondes 598601 Meilen zurück, wovon der 14te Theil die Geschwindigkeit des Lichtes, etwa 42000 Meilen ergibt. Nach Fizeau ist sie 42506, nach Faucault 40145, was als Mittel 41,325 gibt. Man hat in neuerer Zeit Mittel aufgefunden, auch für irdische Entfernungen die Geschwindigkeit des Lichtes zu bestimmen; sie ist zwar in verschiedenen Stoffen verschieden, nicht aber für verschiedene Farben in demselben Stoffe, gleichwie die Fortpflanzung verschiedener Töne oder Schalle überhaupt in demselben Stoffe nicht verschieden war.

Weil die Entfernung der verschiedenen Himmelskörper von der Erde eine so große ist, daß die Angabe von Meilen sehr bedeutende und schwer aufzufassende Zahlen ergeben würden, so kann man die Geschwindigkeit des Lichtes verwenden, um der Vorstellung zuhilfe zu kommen. Es braucht z. B. das Licht der Sonne bis zu uns, um also einen Weg von 19991322 (das Mittel der Angaben von Hansen und Faucault) Meilen zurückzulegen, 8 Minuten und 3,7 Sekunden; nimmt man die Entfernung des uns nächsten Fixsternes, des Sirius im Sternbilde des großen Hundes, auch nur zu 200000 Erdweiten an, so braucht sein Licht bis zu uns über 3 Jahre. — Die Entfernung des Sirius nennt man eine Sternenweite. Die Entfernung der nächsten Nebelflecke, welche sich noch in einzelne Sterne auflösen lassen, bestimmte der ältere Herschel zu wenigstens 500 Sternenweiten, wozu das Licht mehr als 1500 Jahre gebraucht; aber die ganz unauflösbaren sind mindestens 8000 Sternenweiten entfernt, welche das Licht in 24000 Jahren noch

nicht zurücklegt und die selbst durch sein 40füßiges Fernrohr noch kaum erkennbaren werden von ihm in 300000 Siriusweiten gesetzt, so daß das Licht etwa in 1 Million Jahren bis zu uns gelangt. Es ist also klar, daß diese von uns jetzt erblickten Himmelskörper schon vor einer Million Jahren bestanden haben. Wenn aber das Licht eines Himmelskörpers erlischt, wie es schon mehrfach beobachtet worden ist, so bekommen wir von dem Absterben einer solchen Welt viel später eine Kunde, als es geschieht, und es können manche von ihnen bereits vor Jahrtausenden erloschen sein, ohne daß wir es wissen.

Wüßte man die Länge oder vielmehr die Dicke d einer Lichtwelle, und wir werden sie später in der That durch unmittelbare Messung bestimmen lernen, so ließe sich durch Division derselben in die Geschwindigkeit g des Lichtes, die Anzahl z der Schwingungen in einer Sekunde angeben: $\left(z = \frac{g}{d}\right)$. Für das rothe Licht ist d = 0,00074 Millimeter, so daß also 100000 Wellen auf 74 Millimeter und auf einen Meter 1351351 gehen. Eine deutsche Meile enthält 7400 Meter, also 41325 Meilen geben 305805000 Meter, auf welche 413 Billionen Aetherwellen kommen. Wenn also in einem Punkte rothes Licht, zu welchem die längsten Wellen gehören, erregt wird, so gehört zu ihm die staunenswerthe Anzahl von mehr als 413 Billionen Schwingungen in einer Sekunde; zu dem violetten Lichte, welches die kürzesten Wellen hat, aber fast doppelt so viele, so daß diese Farbe eine viel energerische ist, als das Roth. Wenn man sich daher bei beginnender Dämmerung z. B. in einer Bildergallerie befindet, so erscheinen Bilder mit blauen Gewändern noch ganz deutlich, während die mit rothen kaum noch zu erkennen sind. Einen ähnlichen Einfluß haben die Brillen mit blauen Gläsern. So wie ein höherer Farbenton auf das Auge einen wirksameren Eindruck macht, so ist es auch mit einem Schalltone, so daß eine hohe Diskantstimme unter übrigens gleichen Umständen durchdringender ist, als eine tiefe Baßstimme und die schrillende Schiffspfeife das Brausen des Sturmes übertönt und durchdringt. Der Umfang der Farbentöne ist aber ein geringerer, nämlich nicht vollständig eine Oktave, als der der Schalltöne, welcher gegen 9 Oktaven umfaßt.

Die angeführte Geschwindigkeit des Lichtes bezieht sich nur auf seinen Durchgang durch den Weltäther; sie ist im Wasser gleich 1000, wenn sie im leeren Raume 1336 angenommen wird, ja sie zeigt sich in demselben Körper, z. B. einem Kalkspathkrystalle mit seinen natürlichen Gränzflächen, nach zwei verschiedenen Richtungen verschieden, so daß man von einem Gegenstande, z. B. einem Punkte, durch ihn zwei Bilder sieht, gleichwie man bei einer sehr langen Eisengußröhre den auf das eine Ende ausgeführten Schlag zweimal hört, einmal durch das Eisen und dann durch die Luft.

3) Fortpflanzung der Wärme. Hält man die eine Seite des Gesichtes einem geheizten Ofen in einiger Entfernung gegenüber, so hat man in ihr das Gefühl einer größeren Wärme, als in der anderen Seite; hält man vor das Gesicht schnell ein Blatt Papier, ein Brettchen u. dergl., so ist die Wärme wie abgeschnitten; nimmt man es wieder weg, so prallt sie gewissermaßen an. Es ist gradeso, als wenn vom Ofen die Wärme in derselben Weise ausginge, wie das Licht von einem leuchtenden Körper, welches man mittelst eines undurchsichtigen Schirmes auch plötzlich abhalten kann. Und in der That steht diese Wärmeverbreitung mit der des Lichtes in so inniger Verbindung, daß sie oft gemeinschaftlich auftreten, wie es ja Jedermann aus der Erscheinung der Brenngläser weiß, und daß beide somit in Schwingungen nur des Weltäthers bestehen. Diese Aetherschwingungen können unsichtbar sein (dunkles Licht), wenn sie entweder allzulangsam, oder allzurasch sind, wie ja Schwingungen irdischer Körper unter denselben Umständen unhörbar waren.

Diese Wärmeerscheinung nennt man die strahlende Wärme, welche die Geschwindigkeit des Lichtes hat und von ihm sich nur durch die Schwingungszahl unterscheidet, wie wir es noch genauer werden kennen lernen.

In irdischen Körpern ist die Fortpflanzung der Wärmeschwingungen, welche man Leitung nennt, von einer Stelle eines Körpers nach den anderen desselben Körpers außerordentlich verschieden: bei manchen geschieht sie schnell, weshalb sie gute Leiter heißen; bei anderen sehr langsam, welche schlechte Leiter sind, ohne daß es für beide eine bestimmte Gränze gibt. Unter allen Umständen ist die Leitung der Wärme gegen die Strahlung äußerst langsam.

Setzt man das eine Ende von Stäben aus verschiedenen Stoffen, z. B. Holz, Glas, Metall, und von gleicher Länge, Dicke und Gestalt, derselben Wärmequelle aus, z. B. einer Spiritusflamme oder siedendem Oele; so verbreitet die Wärme sich in ihnen mit verschiedener Geschwindigkeit nach dem anderen Ende fort, was man leicht erkennt, wenn man auf alle Stangen in gleichen Entfernungen von dem erwärmten Ende an Wachskügelchen aufklebt: beim Metallstabe wird ein Kügelchen früher schmelzen, als das gleichentfernte auf dem Holzstabe; also ist das Metall ein guter, das Holz ein schlechter Leiter, oder das Metall pflanzt die Schwingungen von Theilchen zu Theilchen mit Leichtigkeit fort; das Holz aber schwer; dort vertheilt sich die lebendige Kraft der Wärme auf eine große Masse und kann die Schwingungszahl jedes einzelnen nicht sehr vermehren, d. h. die Wärme steigern; hier aber wird sie auf eine kleine Masse übergetragen, deren Schwingungszahl (Wärme) bald so bedeutend wird, daß sie bei Anwendung der Spiritusflamme verbrennt. — Zu den guten Leitern gehören die Metalle in der Ordnung: Gold, Platin, Silber, Kupfer, Eisen, Zink, Zinn, Blei; weniger gut

leiten Steine, Glas; gebrannter Thon, die tropfbaren Flüssigkeiten außer Quecksilber; schlechte Leiter sind: Holz, Kohle, Asche, Stroh, Heu, Häcksel, Spreu, Haare, Leinwand, Papier, Wolle, Baumwolle, Seide, Federn, Schnee, Eis, ruhige Luft und alle lockeren, viele Luft enthaltenden Körper.

Sind Körper in ihrem Innern ganz gleichartig (isomorph) und ist die Massenvertheiluug nach allen Richtungen hin dieselbe, so leiten sie auch die Wärme nach allen Richtungen gleich gut; ist aber das Innere eines Körpers nicht homogen, so ist auch die Leitung verschieden. Holz z. B. leitet die Wärme besser nach der Richtung der Jahrgänge, als in lothrechter Richtung auf ihnen. Während des Winters kommt daher den Bäumen die Wärme aus der Tiefe des Erdbodens zustatten, während die Kälte der Luft nicht so leicht quer hindurch eindringen kann.

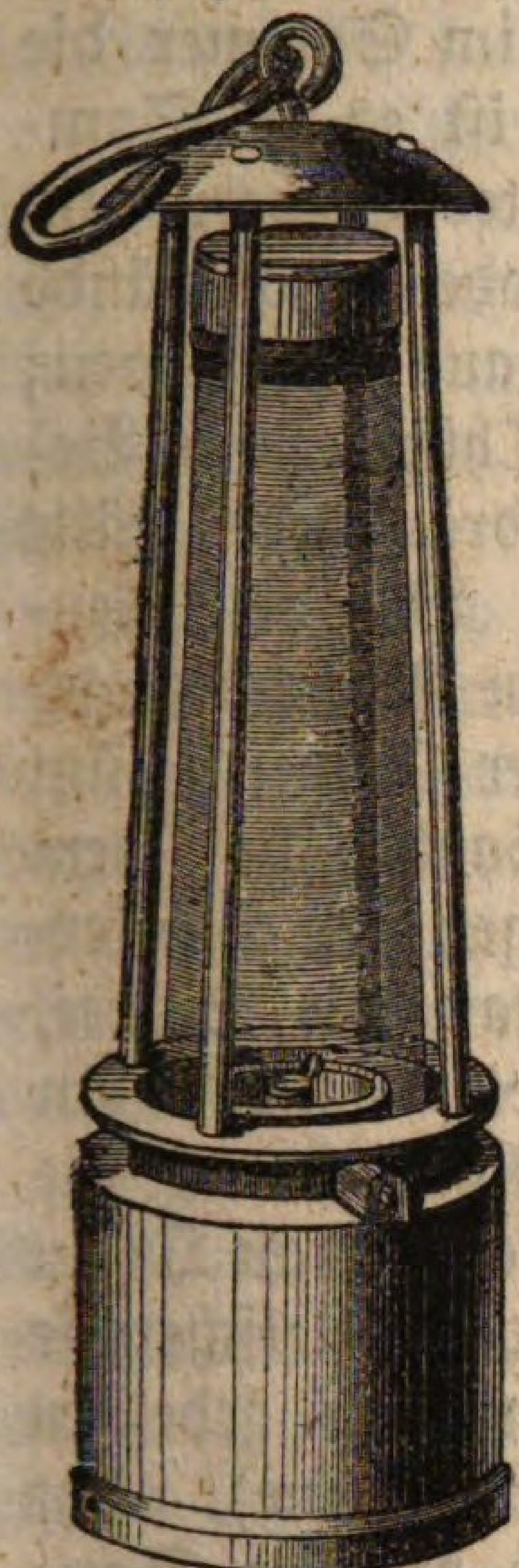
Davon, daß Wasser nicht ein guter Wärmeleiter ist, überzeugt man sich, daß eine auf kaltes Wasser gegossene Schicht von siedendheißem Oel dasselbe nach unten nur sehr langsam erwärmt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Leitungsfähigkeit der verschiedenen Körper sind für das praktische Leben in vielfacher Beziehung wichtig. Wir müssen daher Einiges darüber anführen.

Es kocht schneller in metallenen breiten, als in irdenen hohen Gefäßen; schneller, wenn das Feuer von unten, als wenn es seitwärts angebracht ist. — Eiserne Oefen heizen sich schneller und kühlen schneller aus, als irdene. — Ein Räucherkerzchen glüht wohl auf einer irdenen, nicht aber auf einer metallenen Unterlage ganz aus. — Glühende Kohlen verlöschen auf einer Metallplatte bald, nicht aber auf oder in Asche. — Mit Ruß belegte Gefäße, in denen kochendes Wasser ist, kann man ohne Gefahr eine kurze Zeit auf die Hand stellen. — Ein kaltes und dickes Glas schützt man vor dem Zerspringen auf einer heißen Platte durch Unterlegen von Papier. — Beim Feuer zu gebrauchende Metallgeräthe versieht man mit hölzernen Handhaben oder greift sie mit einem feuchten Lappen an. — Ein wollener Faden verbrennt in einer Kerzenflamme nicht, wenn er dicht um einen Metallschlüssel gewunden ist. — Blei läßt sich in dünnem Papiere schmelzen, weil das Papier mehr erwärmt werden muß, um zu verbrennen, als das Blei, um zu schmelzen und dieses die dem Papiere zugeführte Wärme schnell annimmt.

Wird ein feines Metalldrahtgeflecht über eine Flamme gehalten, so wird diese dadurch abgekürzt, weil das Metall die Wärme allzuschnell ableitet, als daß die zum Verbrennen dienende Luft noch die hinreichende Wärme behält. In Bergwerken wird daher mittelst der Sicherheitslampe von Davy, bei welcher die Flamme von einem solchen Drahtgitter allseitig umgeben ist, das Entzünden der brennbaren Gase, der sogen. schlagenden Wetter vermieden. Das brennende Gas entzündet sich zwar, wenn es im Innern der Lampe mit der Flamme in Berührung kommt, und warnt somit vor der drohenden Gefahr für die Gesundheit,

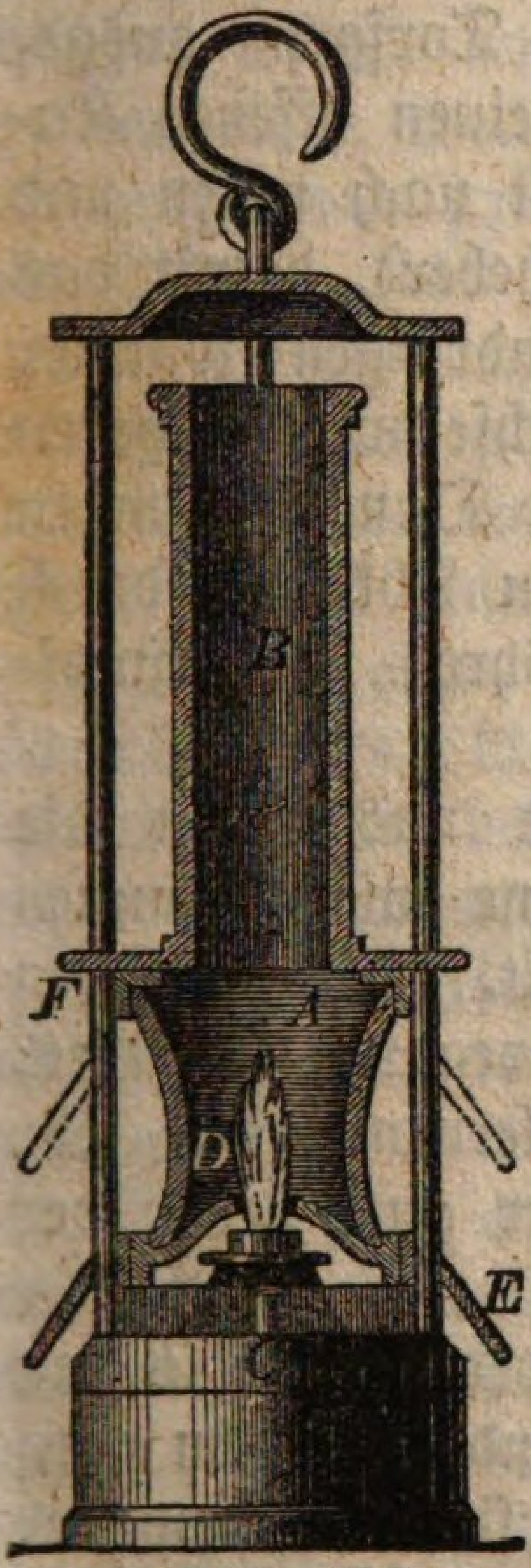
aber das Entzünden der äußeren Luft wird so lange verhindert, als das Drahtgitter noch nicht glüht.



(Fig. 266.)

Fig. 266 zeigt die äußere Ansicht der Lampe: der untere Theil ist das Oelgefäß aus Metall, darauf wird das von vier Metallstäben gehaltene Drahtgitter aufgeschraubt. Die Flamme verlöscht erst, wenn die Luft etwa $1/5$ Grubengas enthält. Elvin hat eine Lampe (Fig. 267) angegeben, welche eine größere Sicherheit gibt, indem sie schon bei einer geringeren Beimischung des Gases unter einer kleinen Explosion im Innern verlischt. C ist das Oelgefäß, darauf sitzt ein Ring von feinem Drahtgewebe, auf seinem oberen Rande luftdicht angekittet ein kuppelförmiges Blech D mit einem Einschnitte oben für die Flamme; A ist ein eingebogener Zylinder von weißem Glase, welcher auf den unteren Rand des D und oben bei F eingekittet ist, B ist ein Schornstein von Metall, welcher mit einem doppelten Drahtgitter verschlossen ist. Außerhalb ist ein kegelförmiger Metallspiegel angebracht, durch welchen in der unteren Stellung E das Licht der Flamme nach oben, in der oberen Stellung nach unten geworfen wird.

Erst kürzlich hat man das Vorhandensein der schlagenden Wetter in den Bergwerken auf eine recht sinnreiche Weise durch das Prinzip der Endosmose (Bd. I. S. 89) zu entdecken unternommen, was ich hier wegen der großen Wichtigkeit der Sache noch anführen will. Es wird nämlich eine Kugel aus ganz dünnem Kautschuk mit atmosphärischer Luft gefüllt und unterhalb festgelegt; oberhalb macht der eine Arm eines Hebels einen kleinen Eindruck in sie, was durch eine Feder am anderen Arme bewirkt wird. Wird nun diese Vorrichtung in Luft gebracht, die selbst nur 5 Prozent Kohlenwasserstoff enthält, so bläht die Kugel sich sofort auf, indem Gas eindringt, wodurch die Feder gelöst und ein Schlagwerk oder eine elektrische Leitung in Thätigkeit gesetzt und so das Signal für die vorhandene Gefahr rechtzeitig gegeben wird.



(Fig. 267.)

Quecksilber fühlt sich kälter an, als Wasser; Leinwand kälter, als Baumwolle; irgend ein Metall kälter, als Holz und daher frieret bei großer Winterkälte der nasse Finger wohl an jenes, nicht aber an dieses, obwohl beide dieselbe Temperatur besitzen.

Baumwollene und noch mehr wollene Kleider schützen den Körper gegen äußere Kälte und Wärme mehr, als leinene; durch Pelze kann man im Winter die Wärme seines Körpers zusammen, im Sommer die Sonnengluth von sich abhalten. — Unter Strohdächern ist es im Sommer weniger warm und im Winter weniger kalt, als unter Dächern aus gebrannten Steinen oder Metallplatten. — Lehm- oder Holzwände halten wärmer, als Wände aus gut gebrannten oder aus Feldsteinen; tapezirte besser, als untapezirte. — Doppelte Fenster, Thüren und Bekleidungen (Hemden, Strümpfe) schützen gegen die andrängende Kälte vorzüglich durch die dazwischen befindliche ruhige Luft. Bei den Fenstern und Thüren muß also vorzüglich auf einen guten Verschluß gesehen werden, wenn sie nicht zwecklos sein sollen. — Der Schnee schützt im Freien lebende Thiere, die Nordländer und die Saaten vor dem Erfrieren, das Eis verhindert ein sehr tiefes Eindringen der Winterkälte in die Gewässer. — Erfrorne Menschen bedeckt man mit Schnee, gefrorne Früchte (Obst, Kartoffeln) legt man in kaltes Wasser, um ihnen den Frost allmählig zu entziehen. — Auf der Neva bauen die Petersburger häufig Vergnügungslokale aus Eis, in welchen man Oefen aufstellt. — In hohen Gebirgen ist unter dem Schnee und Gletschereise oft eine liebliche Vegetation, welche die natürliche Erdwärme gedeihen läßt. — Eiskeller bringt man deshalb (wegen der Erdwärme) nicht unter, sondern über der Erdoberfläche an und schützt sie vor der Sonnenwärme durch einen Doppelbau aus Holz, bei welchem der Zwischenraum mit Stroh, Häckſel, Kaff, Kohlen, Asche oder Torfgruß ausgefüllt ist. Das sich bildende Wasser darf nicht durch einen offenen Kanal ins Freie geführt werden, sondern durch eine zuerst nach unten und dann nach oben gebogene Röhre (umgekehrter Schenkelheber), damit das im unteren Theile stets vorhandene Wasser das Eindringen warmer Luft verhindere. — Pumpenbrunnen und zarte Gewächse werden gegen die Winterkälte durch Stroh geschützt; bei Wasser- und Dampfheizungen schützt man die Zuleitungsröhren vor dem allzufrühen Abkühlen durch schlechte Wärmeleiter, ebenso bei weit zu führenden Röhren für Dampfmaschinen, was für die Ersparniß sehr wichtig ist.

4) Fortpflanzung der Elektrizität. Wenn uns schon die Geschwindigkeit des Lichtes und der strahlenden Wärme mit Erstaunen erfüllte, so geschieht dies noch mehr bei der Elektrizität. Die irdischen Körper besitzen auch für die Fortpflanzung dieses Bewegungszustandes, dessen Wesen wir erst später genauer werden kennen lernen, eine sehr verschiedene Fähigkeit oder sie sind mehr oder weniger gute Leiter der Elektrizität.

Werden Bernstein, Schwefel, Siegellack, Guttapercha, Glas an irgend einer Stelle gerieben, so zeigen sie nur an ihr und in einem ganz geringen Umkreise die elektrischen Erscheinungen, ohne sie in sich weiter fortzuführen, also gehören die genannten Körper zu den ganz schlechten

Leitern für die Elektrizität; bringt man aber Metalle mit elektrischen Körpern in Berührung, so werden sie augenblicklich an allen Stellen elektrisch, also sind die Metalle gute Leiter.

Zu den schlechten Leitern oder Nichtleitern gehören noch Elfenbein, Haare, Federn, gedörrtes Holz, ganz trockene Luft; dagegen sind feuchte Luft, feuchter Erdboden und überhaupt alle feuchten, also auch die thierischen Körper und die lebenden Pflanzen ziemlich gute Leiter. Die besten Leiter für die Wärme und den Schall sind es auch für die Elektrizität.

Wenn man einen guten Leiter, z. B. einen Metallzylinder, mit lauter Nichtleitern umgibt, ihn also in der trockenen Luft auf Glasfüße, die noch mit einem Lackfirniß überzogen sind, stellt oder in Seidenschnüre hängt, so sagt man der Leiter ist isolirt. Sitzt oder steht ein Mensch auf einem Schemel mit Glasfüßen (Isolirstuhl), so ist er auch isolirt, besonders wenn er noch eine seidene Bekleidung hat und die Luft recht trocken ist.

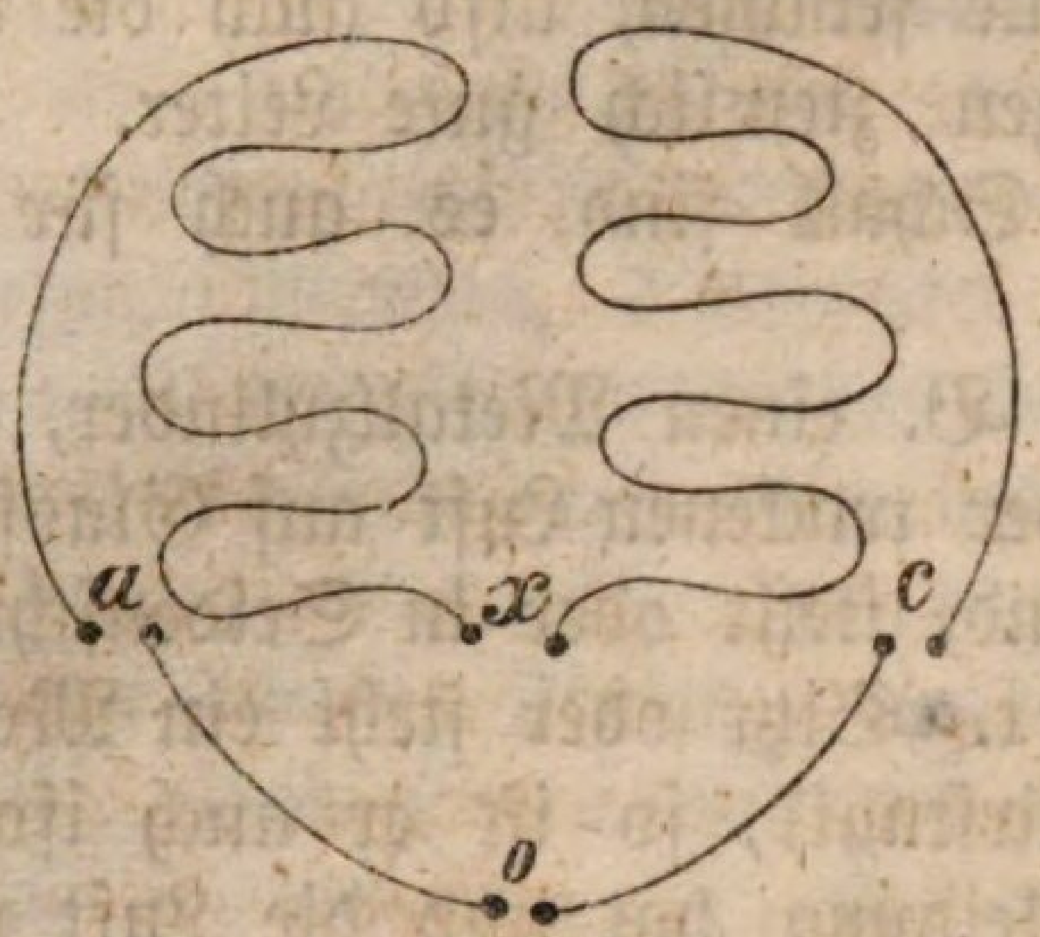
In dem chemisch reinen Kupfer beträgt die Geschwindigkeit der Elektrizität über 60000 Meilen in 1 Sekunde. Dieses hat man auf verschiedene höchst sinnreiche Weise ermittelt. Wir wollen nur eine davon anführen, welche zugleich die Dauer des elektrischen Funkens erkennen läßt.

Wenn man vor einem lothrecht gestellten Spiegel einen leuchtenden Punkt hat, so ist sein Bild doppelt so weit von ihm entfernt, als der Spiegel. Wird nun der Spiegel um eine in ihm liegende lothrechte Axe um einen Grad gedreht, so legt das Bild schon 2 Grade zurück und dreht man jenen einmal um die Axe oder 360 Grade, so beschreibt das Bild 2 . 360 = 720 Grade. Wird der Spiegel durch eine besondere Vorrichtung in 1 Sekunde 800mal oder um 800 . 360 = 288000 Grade gedreht, so legt das Bild des Punktes 2 . 288000 = 576000 Grade, folglich in $\frac{1}{576000}$ Sekunde nur 1 Grad zurück. Da aber das Bild eines elektrischen Lichtpunktes selbst bei dieser großen Geschwindigkeit eine Ausdehnung von nur ½ Grade zeigt, so ist die Dauer des elektrischen Lichtes etwa der 1152000ste Theil einer Sekunde; denn bei einer längeren Dauer müßte sein Spiegelbild eine größere Ausdehnung haben.

Diese Thatsache von der so außerordentlich kurzen Dauer des elektrischen Funkens hat zu interessanten Wahrnehmungen Veranlassung gegeben.

Wenn man ein Speichenrad rasch genug dreht, so kann man bei gewöhnlicher Beleuchtung die einzelnen Speichen nicht mehr erkennen; erleuchtet man dasselbe aber im Finstern durch einen einzelnen elektrischen Funken, so erkennt man die Speichen und es scheint zu ruhen, denn man sieht es nur kaum während des millionten Theiles einer Sekunde, also eben nur an einer einzelnen Stelle seines Weges.

Ebenso erkennt man bei einem scheinbar zusammenhängenden Wasserstrahle die einzelnen Tropfen, ferner auf einem schnell gedrehten Farbenkreisel die einzelnen Farben, man sieht eine schwingend tönende Saite in einem einzelnen Standpunkte ihrer Schwingung.



(Fig. 268.)

Um nun die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität in einem Kupferdrahte zu bestimmen, nimmt man einen solchen (Fig. 268), welcher an 4 Stellen, o, a, x, c, Unterbrechungen mit etwa $\frac{1}{10}$ Linien von einander abstehenden Kügelchen hat, wobei die Stellen a, x, c genau in einer graden Linie liegen und die beiden Stücke ax und cx $\frac{1}{4}$ englische Meilen lang sind. Bedürfte die Elektrizität, um von dem Erregungspunkte o aus die beiden langen Drahtstücke zu durchlaufen, gar keiner Zeit, so würden die drei Fünkchen in a, x, c stets gleichzeitig und in einer graden Richtung erscheinen. Wenn man aber die drei Bilder von ihnen in einem Spiegel betrachtet, so zeigen sie bei nicht großer Drehungsgeschwindigkeit sich zwar noch als Punkte und in einer graden Richtung; sowie aber der Spiegel 800 Drehungen in einer Sekunde macht, sind die drei Bilder nicht nur jedes auf etwa $\frac{1}{2}$ Grad in die Länge gezogen, sondern das mittelste allein ist noch mit seinem Anfangspunkte vor- oder rückwärts verschoben, jenachdem der Spiegel gedreht wird, welches ein Zeichen davon ist, daß der mittelste Funke später erscheint, als die beiden anderen gleichzeitig auftretenden. Da diese Verschiebung erst bei 800 Umdrehungen des Spiegels in einer Sekunde stattfindet, so ist die Zeitdauer von dem Erscheinen eines äußeren bis zu dem des mittleren Funkens nur der 1152000ste Theil einer Sekunde oder die Elektrizität bedarf dieser Zeit, um den Weg von $\frac{1}{4}$ engl. Meile zurückzulegen, wird also in 1 Sekunde $1152000 \cdot \frac{1}{4} = 288000$ englische oder gegen 62000 geographische Meilen durchlaufen. (Nach Weber blos 59320 M.)

So ist nun die sehr schwierig scheinende Aufgabe gelöst und die beim Telegraphiren bewunderte Schnelligkeit der Fortpflanzung der elektrischen Erregung nachgewiesen. Sie ist nicht erklärlich, wenn in dem fortpflanzenden Stoffe Verdichtungen und Verdünnungen entstehen sollten durch Bewegung der Molekel mit ihren Gleichgewichtspunkten, sondern nur, wenn wir Schwingungen um diese Punkte annehmen, welche bei zusammenhängenden Massen an einzelnen Stellen nicht erregt werden können, ohne zugleich oder fast zugleich in den anderen sich zu zeigen. Zur Erleichterung der Vorstellung von dem augenblicklichen Fortschreiten einer Bewegung, wenn auch nicht zur Erklärung unseres

Vorganges, kann das Spielzeug dienen, durch welches man zwei Reihen etwa von Soldaten gleichzeitig in Bewegung setzt, wenn dieselben an den Enden zweier einander scheerenförmig kreuzender Reihen paralleler und um ihre Befestigungspunkte drehbarer Stäbchen angebracht sind. Bewegt man die ersten beiden Stäbchen, so gerathen auch alle übrigen sofort in Bewegung. Wenn also beim Telegraphiren die ersten Molekel des zusammenhängenden Drahtes in eine gewisse schwingende Bewegung versetzt werden, so gerathen fast gleichzeitig auch alle folgenden in dieselbe Bewegung, wobei aber keine Stelle des Drahtes eine Verdichtung oder Verdünnung erleidet.

Wenn die Geschwindigkeit der Elektrizität im Kupfer bei 0 Grad Wärme mit 100 bezeichnet wird, so ist sie für Silber 136,2, Gold 79,8, Zinn 30,8, Eisen 17,7, Platin 14,2, Quecksilber 2,58. Geringe Verschiedenheiten in den Stoffen verändern die Leitungsfähigkeit oder die Geschwindigkeit der Fortpflanzung oft sehr; 16 karäthiges Gold leitet 16 mal schlechter, als reines Gold. Die Metalle besitzen für die Wärme und die Elektrizität ziemlich dasselbe Leitungsvermögen.

Das Leitungsvermögen der tropfbaren Flüssigkeiten ist dagegen gering, wenn nicht ihr Querschnitt sehr vergrößert wird; das größte besitzen die Säuren, ein schwaches die Auflösungen von Alkalien; der Erdboden leitet besser, als Wasser und wird daher beim Telegraphiren auch benutzt.

Die Zunahme der Wärme vermindert die Leitung fester und vermehrt die tropfbarer Körper.

Von der **Geschwindigkeit des Magnetismus** kann nicht die Rede sein, da er, wie wir sehen werden, ein erzwungener Ruhezustand nach einer vorhergegangenen Bewegung ist.

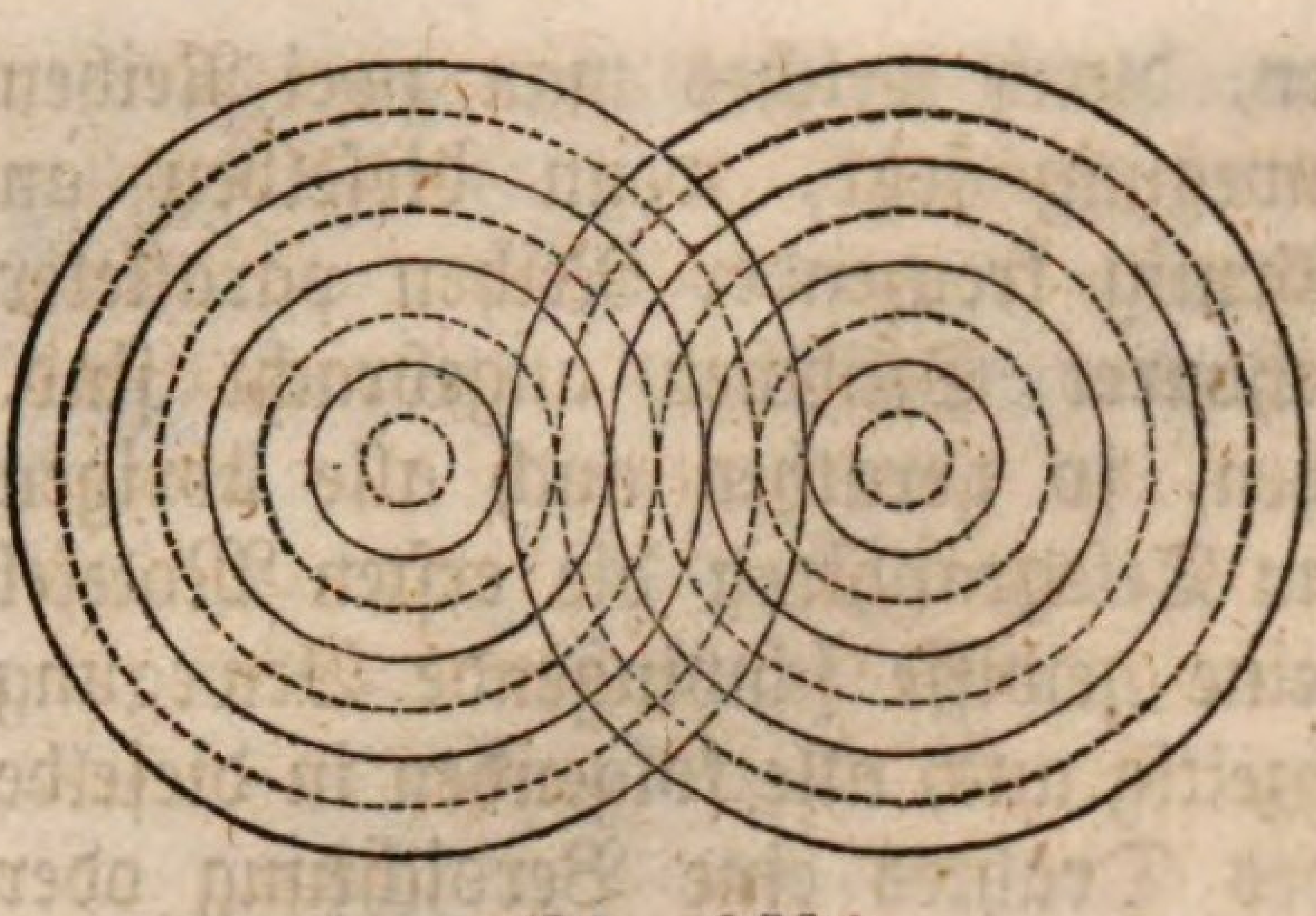
Das Zusammenwirken von gleichartigen Schwingungen.

Wenn ein Massentheilchen durch zwei Kräfte gleichzeitig zu Schwingungen angeregt wird, so sind zwei Fälle denkbar:

1) die beiden Kräfte wirken miteinander und vergrößern die Schwingungskraft dieses Theilchens (**Koinzidenz**),

2) die beiden Kräfte wirken gegeneinander und vermindern oder heben die Schwingungskraft auf, das Theilchen geräth im letzten Falle in Ruhe (**Interferenz**).

Werden auf dem ruhigen Spiegel einer Flüssigkeit in zwei verschiedenen Punkten (Fig. 269) gleichzeitig Wellen von gleichen Abmessungen erregt, so stauen die von beiden Punkten kommenden Wellenberge einander an bestimmten Orten, so daß dort ein Berg von doppelter Höhe entsteht. Durch das Sinken desselben nach jeder der beiden Seiten des Fußes werden dort zwei Wellenberge erzeugt, die nun nach entgegengesetzten Richtungen fortgehen, so daß die beiden Wellensysteme



(Fig. 269.)

einander durchkreuzen und jedes selbstständig weiter geht. Dadurch geschieht es, daß es Stellen gibt, in denen nur Berg auf Berg und Thal auf Thal trifft (Koinzidenz) und andere, in denen die Thäler des einen Systems nur mit den Bergen des anderen zusammentreffen (Interferenz), so daß die Flüssigkeit dort stets im ursprünglichen Niveau bleibt. Jene liegen in zwei einander senkrecht schneidenden Graden, diese in krummen (hyperbolischen) Linien.

Bei den Seilwellen sind es die Knotenstellen, bei den Klangfiguren die Knotenlinien, in denen entgegengesetzte Schwingungen einander aufheben. Auf den freien Meeren sieht man häufig sehr zusammengesetzte Wellenbewegungen und wie auf einer großen Welle kleinere von verschiedener Höhe und Richtung spielen.

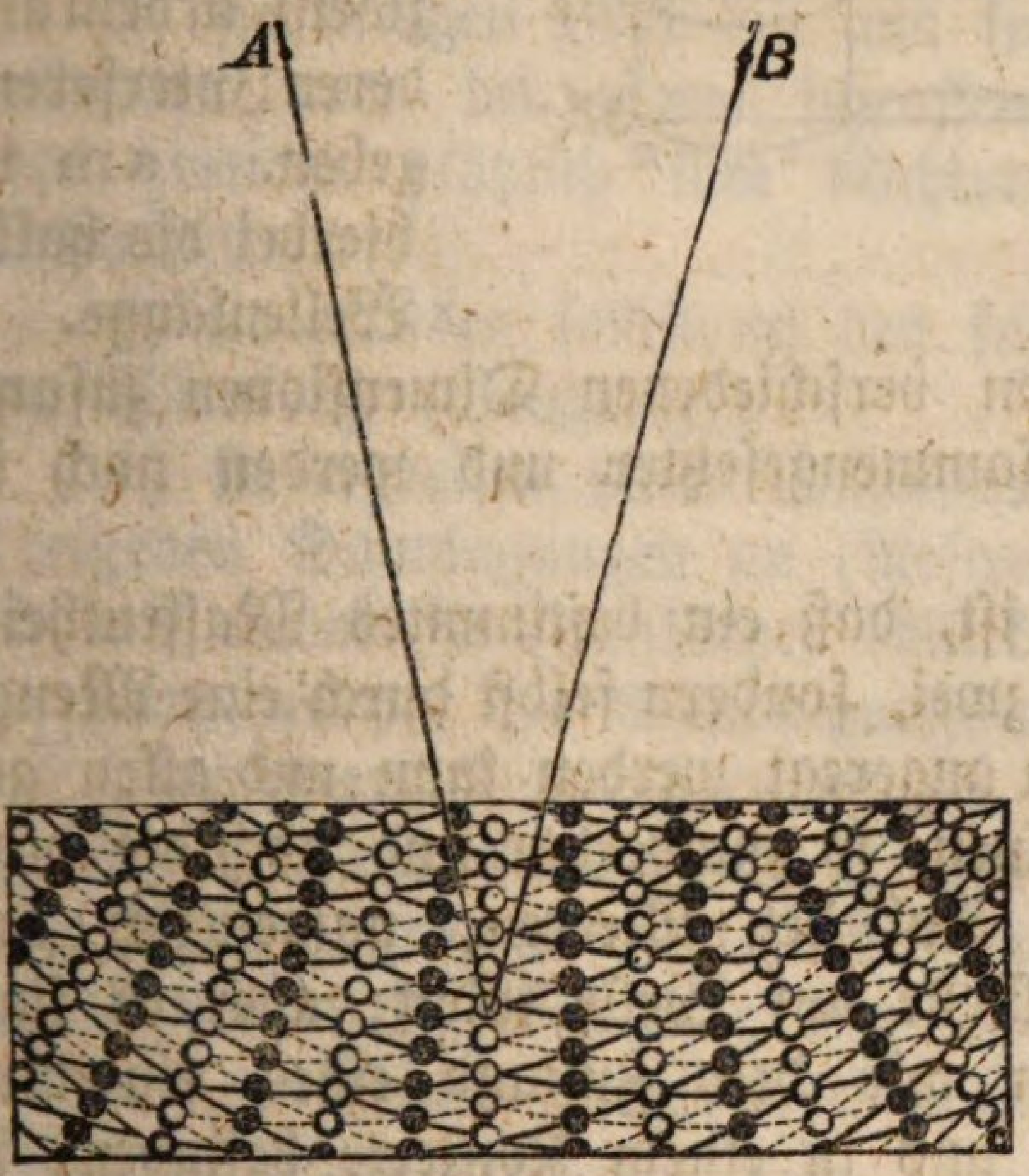
Da die Zinken einer angeschlagenen Stimmgabel gleichzeitig mit gleicher Stärke nach entgegengesetzten Richtungen schwingen, so erzeugen sich auch zwei und zwar kugelförmige Tonwellensysteme, die mit einander entgegengesetzten Richtungen von den Zinkenenden als ihren Mittelpunkten in der Luft fortschreiten. Es ist daher nothwendig, daß an gewissen Stellen, wie bei den Kreiswellen das Wasser, so hier die Luft im Gleichgewichtszustande bleibt, also weder eine Verdichtung, noch eine Verdünnung erfährt und einen hörbaren Eindruck nicht verursachen kann; an anderen aber einerseits die größten Verdichtungen, andererseits die größten Verdünnungen aus beiden Systemen zusammentreffen. An jenen Stellen muß Stille, an diesen eine Verstärkung des Tones eintreten.

Dreht man daher eine angeschlagene Stimmgabel lothrecht vor dem einen Ohre einmal um ihren Stiel, so hört man den Ton viermal anschwellen und viermal schwach werden; ganz verschwindet er deshalb nicht, weil das Ohr wegen der Weite seiner Oeffnung auch an solchen Stellen sich befindet, in denen eine vollkommene Interferenz nicht vorhanden ist. Recht deutlich wird die Erscheinung, wenn man die Gabel vor der etwa 3 Linien weiten Oeffnung einer Glasröhre dreht, welche beim Anblasen den Ton der Gabel gibt. Wäre der Ton der Röhre tiefer, als der von der Gabel, so muß man in sie nach und nach so viel Wasser gießen, bis der richtige Ton erscheint.

Durch eine einfache Vorrichtung kann man es sogar sichtbar machen, daß entgegengesetzte Schwingungen einander aufheben. Hält man eine unten offene und oben mit einem zarten Häutchen bedeckte Röhre (von Holz oder Papier) über einen Theil einer Klangfigur von einer tönenden Scheibe, so wird der auf dem Häutchen befindliche trockene Sand lebhaft in die Höhe geworfen. Nimmt man eine Röhre, welche sich unten

in zwei gesonderte Kanäle spaltet und hält man diese Theile so über die klingende Scheibe, daß eine Knotenlinie grade mitten zwischen ihnen sich befindet; so bleibt der Sand in Ruhe, weil zwei benachbarte Theile der Klangfigur gleichzeitig entgegengesetzt und gleich stark schwingen, also auch in der Luft über sich entgegengesetzte Bewegungszustände von gleicher Stärke hervorbringen. Setzt man die beiden Röhrenzweige über zwei Stellen, zwischen denen eine andere schwingende Stelle liegt, so ist die Bewegung des Sandes lebhafter, als im ersten Falle, weil solche Stellen gleichzeitig nach derselben Richtung schwingen.

So wie Schall und Schall unter Umständen Stille gibt, so erhält man auch aus Licht nnd Licht unter Umständen Finsterniß, welches ein neuer sehr deutlicher Beweis davon ist, daß das Licht in Schwingungen mit wellenförmiger Fortpflanzung besteht. Weil die Lichtwellen sehr kurz sind, muß man sie, um die Erscheinung möglichst kenntlich zu machen, von einander recht nahen Punkten A und B (Fig. 270) ausgehen lassen. Werden nun um A und B mit gleichen Radien lauter Kugelflächen von solchen gleichen Abständen gedacht, daß immer zwischen je zwei benachbarten eine halbe Lichtwelle eingeschlossen ist, so geschehen die Aetherschwingungen solcher Nachbarstreifen nach entgegengesetzten Richtungen. In der Zeichnung ist der Vorgang in einer einzelnen Ebene angedeutet und in den voll und punktirt gezeichneten Kreisen sind die Gränzen der Schwingungen jenseits und diesseits der Gleichgewichtslage enthalten. An den Stellen, in welchen Berg mit Berg, so wie Thal mit Thal zusammentreffen, ist erhöhte Helligkeit; an denen, wo die Berge auf die Thäler fallen, ist der Aether in Ruhe und daher Finsterniß. Jene Stellen, welche durch die hellen Punkte angedeutet sind, sowie diese, durch die schwarzen dargestellten, liegen in zusammenhängenden Linien, die mit einander abwechseln. Auf einer weißen auffangenden Fläche erkennt man daher abwechselnd helle und dunkle Streifen.



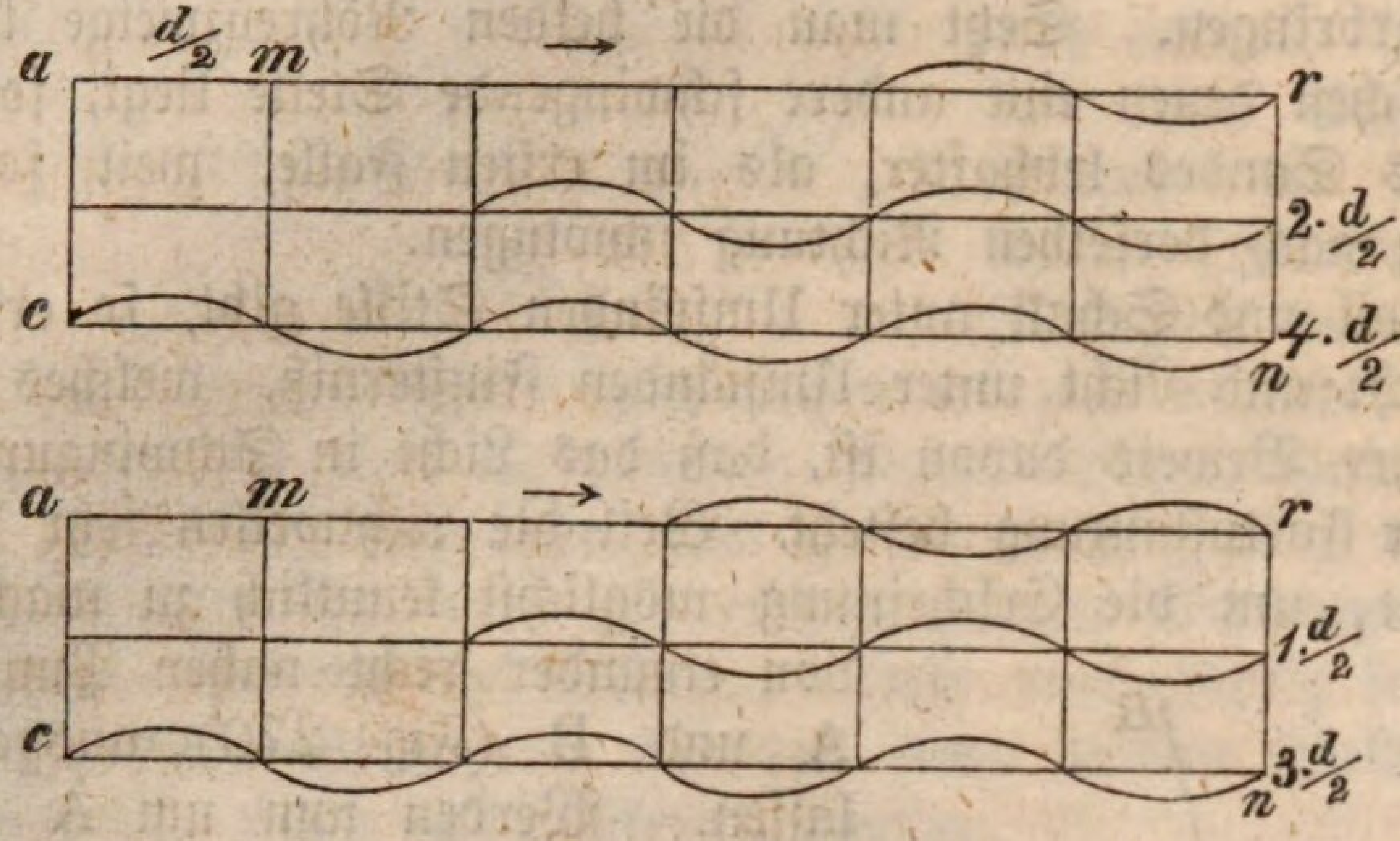
(Fig. 270.)

Auch aus diesem Versuche läßt sich die Dicke der Lichtwellen bestimmen.

Daß auch die strahlende Wärme solchen Erscheinungen unterworfen ist, liegt nicht nur in ihrer Natur, sondern ist auch praktisch nachgewiesen.

In allen Fällen, in welchen von zwei verschiedenen Punkten aus Wellensysteme gleicher Art erregt werden und in welchen die Wellen des

einen Systems um ein grades (2, 4, 6 . . . .) Vielfache einer halben Wellendimension gegen die des anderen zurückbleiben, entsteht Koinzidenz; bleiben sie aber um ein ungrades (1, 3, 5 . . .) Vielfache zurück, so entsteht Interferenz.



(Fig. 271.)

(Fig. 271) verdeutlicht den Vorgang, indem drei Wellenzüge von ac nach rn fortschreiten, und die beiden letzten mit dem ersten in dem einen Falle Koinzidenz, in dem anderen Interferenz geben. am ist hierbei die halbe Wellenlänge.

Wirken gleichartige Wellen von verschiedenen Dimensionen zusammen, so sind die Erscheinungen zusammengesetzter und werden noch in den einzelnen Abschnitten erwähnt.

So alltäglich die Erscheinung ist, daß ein bestimmtes Massentheilchen gleichzeitig nicht blos durch zwei, sondern selbst durch eine Menge Kräfte zu schwingenden Bewegungen angeregt werden kann und allen gehorcht, wenn auch nicht einer einzelnen, so wunderbar sind doch die daraus sich ergebenden Erscheinungen. Auf den Meeren, namentlich auf dem freien Ozean, sehen wir wie Welle auf Welle spielt; aber es sind nur flüchtige Augenblicke, in denen wir den Zustand eines einzelnen Wassertheilchens sehen. Wenn wir uns in einem Konzerte befinden, so erkennen wir die Töne einer jeden einzelnen Gattung von Instrumenten und menschlichen Stimmen durch ihren ganz bestimmten Charakter selbst bei einerlei Höhe oder Schwingungszahl und Stärke oder Schwingungsweite und dennoch kann jedes einzelne Lufttheilchen in einer bestimmten Zeit nur einen Weg zurücklegen, aber derselbe muß offenbar ein sehr zusammengesetzter sein. Unser Gehörorgan hat also eine erstaunenswerthe Fähigkeit für die Auffassung so verwickelter Bewegungen. In einem nicht geringeren Grade ist dies bei den Lichtschwingungen der Fall, welche uns im weißen Lichte das Resultat der zu allen Farben gehörigen Schwingungen geben.

Zweiter Abschnitt.

Zurückwerfung von Schwingungen.

Allgemeine Erscheinungen.

Wenn Schwingungen in dem Stoffe eines Körpers sich fortpflanzen und sie treffen auf einen Stoff derselben Art von anderer Dichtigkeit oder auf einen anderen Stoff, so treten verschiedene Veränderungen in ihrer Richtnng und Geschwindigkeit ein, die entweder einzeln oder gemeinschaftlich auftreten:

1) sie dringen in den neuen Stoff nicht ein, sondern werden zurückgeworfen;

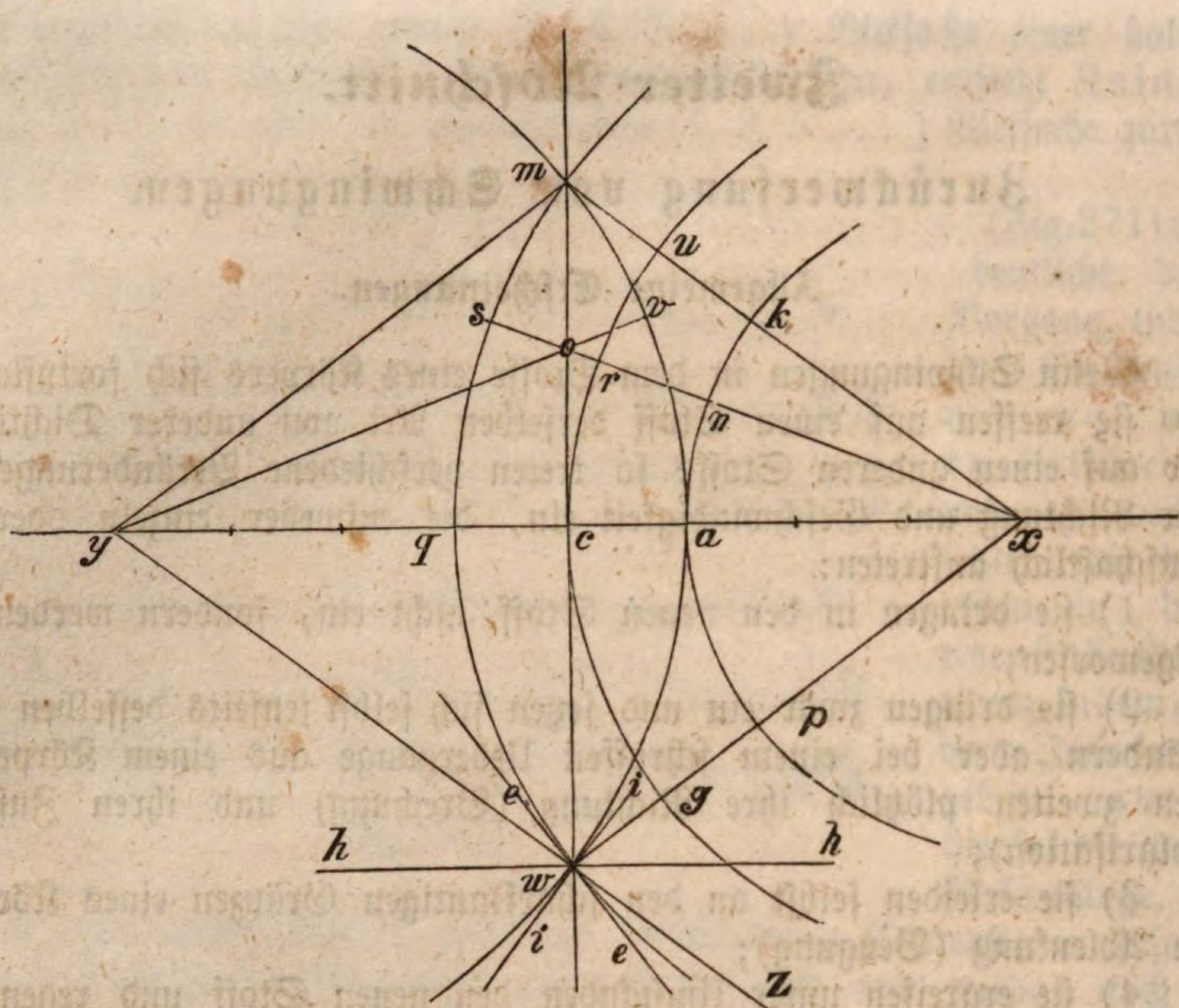
2) sie dringen zwar ein und setzen sich selbst jenseits desselben fort, verändern aber bei einem schroffen Uebergange aus einem Körper in einen zweiten plötzlich ihre Richtung (Brechung) und ihren Zustand (Polarisation);

3) sie erleiden selbst an den scharfkantigen Gränzen eines Körpers eine Ablenkung (Beugung);

4) sie ergreifen unter Umständen den neuen Stoff und regen ihn zu eigenen Schwingungen an (Resonanz); diese Uebertragung kann ohne und mit einem Zwischenkörper (Wirkung auf die Entfernung), ohne und mit Umwandlung der Schwingungsart geschehen.

Eine Zurückwerfung ist bei allen Gattungen von Schwingungen und den dadurch entstehenden Wellen zu erkennen. Erregt man an dem Ende eines angebundenen schlaffen Seiles eine Welle, etwa durch einen hinreichend kräftigen Schlag mit einem Stabe, so pflanzt dieselbe sich nicht nur nach dem festgebundenen Ende fort, sondern kehrt von da aus wieder zurück.

Ist in einer tropfbaren Flüssigkeit eine Wand mw (Fig. 272) lothrecht auf dem Spiegel der Flüssigkeit gestellt und man erregt vor ihr in x Kreiswellen, so pflanzen dieselben sich auch nach ihr hin fort. Liegen die drei Kreisbogen kap, ucg und mqw in den Gränzen zweier Wellen, so sind die Zeiten des Fortschreitens der Wellenbewegung ohne vorhandene Wand in den Zwischenräumen ac, cq, nr, rs, ku und um einander gleich und die Zeit, in welcher die Welle von kap nach ucg fortschreitet, ist auch die Zeit, in welcher sie von ucg bis mqw geht. Ist aber die Wand vorhanden, ist von den Wellenstrahlen xc, xr, xu der Strahl xc auf ihr lothrecht und xc um sich selbst bis y verlängert, so daß cx = cy ist; so gelangt in seinem Endpunkte c die Flüssigkeit zuerst an die Wand, in den Endpunkten der anderen Strahlen um so später, je weiter sie von ihm abliegen, also in u später, als in r. Da jedes Flüssigkeitstheilchen in der durch den Wellenradius auf



(Fig. 272.)

das Niveau lothrecht gelegten Ebene schwingt, so ist ihr Stoß auf die Ebene mw bei c ein lothrechter, in allen übrigen aber ein schiefer; denn r kommt bei o unter dem Winkel xoc und u bei m unter dem Winkel xmc an, also wird c allein lothrecht und die anderen aber unter demselben Winkel, unter welchem sie ankamen, zurückgeworfen. Bei dieser Zurückwerfung, welche bei dem Wellenberge eine Stauung an der Wand hervorbringt, geht die Wellenbewegung von c aus, statt vorwärts bis q zu gehen, in derselben Zeit durch einen eben so großen Weg bis a rückwärts; r geht in der Richtung rs zuerst bis o an die Wand und von da den Weg ov, welcher gleich os ist, zurück, so daß sein ganzer Weg ov + or in derselben Zeit so groß wie der des c ist (xs = yv, xo = yo, also os = ov und so + or = ov + or = ca; u geht in dieser Zeit blos bis m an die Wand und ist dann von y ebensoweit entfernt, als von x.

Die Betrachtungen, welche von r galten, finden für alle Punkte zwischen c und u und gleichmäßig zwischen c und g statt; d. h.: sowie r nach seiner Zurückwerfung von der Wand in der Zeit des Fortschreitens einer Welle rückwärts in einem Punkte v angelangt ist, welcher von einem Punkte y jenseits der Wand ebensoweit entfernt ist, wie x diesseits, so gilt dieses von allen Punkten der ankommenden Welle nach ihrer Zurückwerfung.

Daraus ergibt sich als Gesetz:

eine Kreiswelle wird von einer festen Wand so zurückgeworfen, daß der Mittelpunkt der zurückgeworfenen Welle ebensoweit jenseits der Wand liegt, als der Erregungspunkt diesseits.

Denken wir uns bei w ein außerordentlich kleines Wellstück der ankommenden Welle, dessen Lage durch ee angegeben sein mag, und als grade Linie angesehen werden kann; so steht es auf dem Wellenradius xw lothrecht. Dasselbe ist der Fall mit einem dort befindlichen solchen Stücke der zurückgeworfenen Welle, dessen Lage ii angibt und wozu yw der Radius ist. Da nun die Strahlen xw und yw gegen die Wand dieselbe Lage haben, so besitzen auch die auf ihnen lothrechten Wellenstücke ee und ii sowohl gegen sie, als auch gegen das auf ihr in w gedachte Loth hh einerlei Lage; d. h. eine Welle wird von einer Wand unter demselben Winkel zurückgeworfen, unter welchem sie ankommt oder der Ausfallswinkel ist gleich dem Einfallswinkel (xwh = hwz).

Die angeführten Gesetze gelten in aller Strenge auch von den kugelförmigen Wellen, es mögen nun Schallwellen oder Lichtwellen sein und sind in ihrer Anwendung außerordentlich fruchtbar.

Um in allen Fällen die rückwärts gehende Bahn der Schwingungen zu finden, braucht man nur den Winkel, welchen der Wellenstrahl xw der ankommenden Welle mit dem Lothe wh auf der getroffenen Stelle w bildet, also den Winkel xwh oder den Einfallswinkel, in derselben Ebene auf die entgegengesetzte Seite des Lothes übertragen, so daß Winkel zwh = xwh ist und wz ist dann der zurückgeworfene Wellenstrahl.

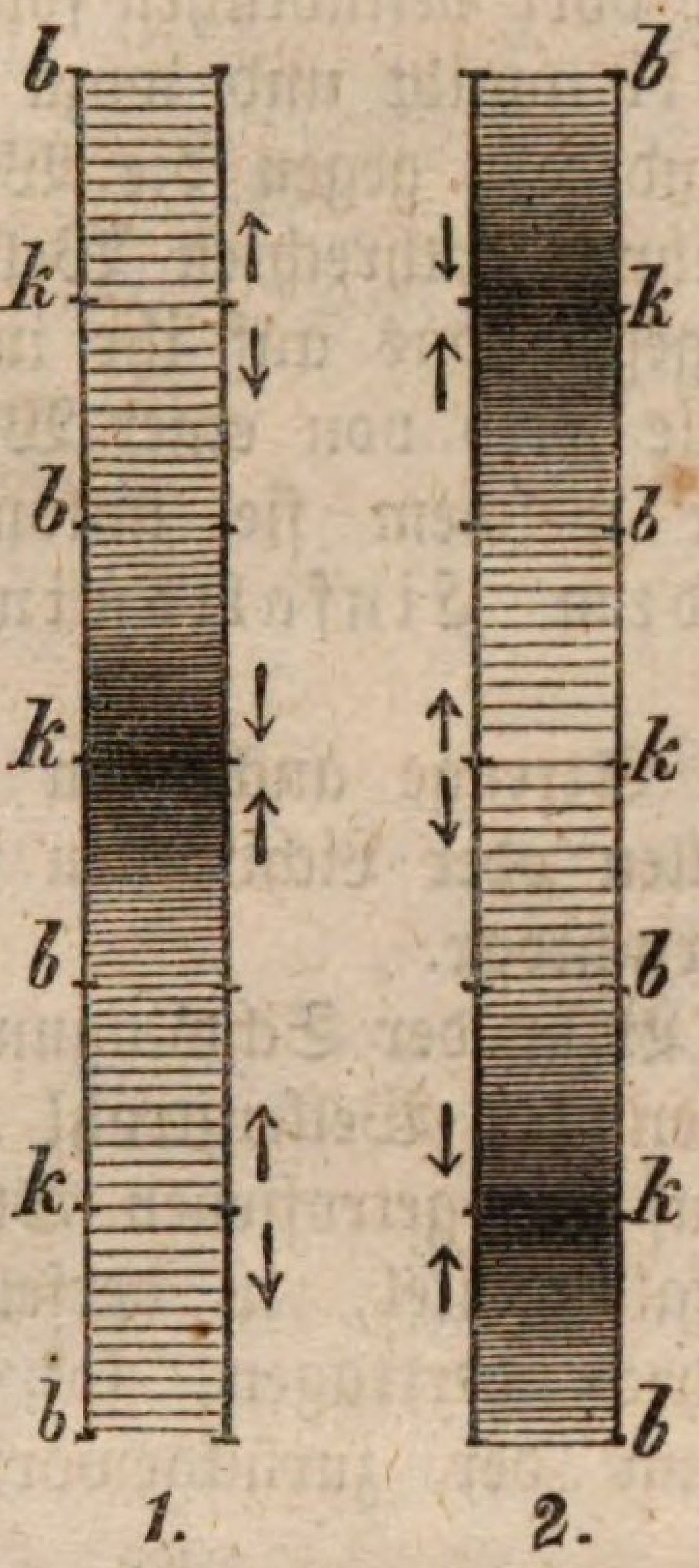
Selbst die elektrischen Schwingungen, welche freilich Wellen in der früher angeführten Bedeutung nicht geben, werden in einem Leitungsdrahte, welcher auf ein Hinderniß durch einen anderen Stoff trifft, zurückgeworfen, was man wohl Polarisation genannt hat.

Wichtig sind zunächst die durch Zurückwerfung gebildeten sogen. stehenden Wellen, bei welchen die Knoten und Bäuche eine unveränderte Lage haben, während sie bei den fortschreitenden sich von dem Mittelpunkte der Erregung mehr und mehr entfernen.

Erregt man in der Mitte eines kreisrunden Gefäßes mit einer Flüssigkeit durch rechtzeitiges wiederholtes Einsenken einer Kugel Kreiswellen, deren Breite in dem Radius des Gefäßes genau enthalten ist; so treffen die von der Wand ringsum zurückgeworfenen Wellen mit den ankommenden so zusammen, daß in bestimmten Kreisen die Flüssigkeit das Niveau nicht verläßt (Knoten), daß zwischen zwei benachbarten Kreisen abwechselnd Berg und Thal entsteht und daß zu beiden Seiten eines jeden Berg und Thal mit einander abwechseln. Dieses sind also stehende Kreiswellen.

Stehende Kugelwellen würden sich in einem hohlkugelförmigen Raume bilden, wenn man in dessen Mittelpunkte anhaltende Tonwellen erregte. Wenn man sich in diesem Raume eine an beiden Enden offene Röhre, deren Stoff gleichgiltig ist, in der Richtung eines Strahles denkt, so befinden sich in ihr auch stehende Wellen.

Man erhält Theile solcher stehenden Kugelwellen auch, wenn man die Luft in einer an beiden Enden offenen Pfeife (Fig. 273) zum Tönen bringt. Ist sie von Glas und erfüllt man ihre Luft mit Tabakrauch, so kann man die Schwingungen der Luft beobachten. Je nach der Höhe des Tones ist die Anzahl der Knotenstellen, die hier mit x bezeichnet sind, verschieden. Während in der ersten Pfeife in der Mitte die größte Verdichtung ist, befinden sich zu beiden Seiten in der Entfernung zweier Theile bei k u. k die größten Verdünnungen; die zweite Pfeife zeigt den Vorgang während der zweiten Hälfte der Schwingungszeit: hier ist in der Mitte die größte Verdünnung und zu beiden Seiten sind die Verdichtungen an den früheren Stellen der Verdünnungen. Die mit b bezeichneten Stellen der Bäuche erleiden weder Verdichtungen noch Verdünnungen, wohl aber ist dort die größte Schwingungsweite.



(Fig. 273.)

In dem gezeichneten Falle enthält die Pfeife 1½ Tonwellen, denn von den beiden Enden bis zum nächsten Knoten ist ¼ Welle und dazwischen sind noch 4 Viertel. An den offenen Enden können stets nur Bäuche sein. Die beigesetzten Pfeile geben die abwechselnden Richtungen der schwingenden Luft an.

Läßt man an einem dünnen Faden einen kleinen mit einem ganz zarten Häutchen überspannten Rahmen in die Pfeife und hat man das Häutchen mit feinem trockenen Sande bestreut, so ist dieser an den Stellen der Bäuche in der lebhaftesten Bewegung, an denen der Knoten ziemlich in Ruhe.

Wenn ein Körper leuchtet, so ist der Lichtäther in ihm in stehenden Schwingungen und ebenso scheinen im elektrischen Blitze stehende Schwingungen stattzufinden. Wird die Dauer des elektrischen Funkens zu $^1/_{1152000}$ einer Sekunde und die mittlere Schwingungszahl des Lichtes zu 600 Billionen angenommen, so ist das Erscheinen des elektrischen Funkens an seiner punktartig beschränkten Stelle immer noch mit fast 521 Millionen Schwingungen verknüpft.

Wenn der Weltäther durch seine Schwingungen uns die Gestirne, ein angezündetes Licht u. a. sichtbar macht, so sind seine Schwingungen in ihm fortschreitende; stehende aber sind sie, wenn er selbst leuchtet, wie z. B. beim heftigen und schnellen Zusammendrücken von Körpern (des luftfreien Wassers, der Luft beim pneumatischen Feuerzeuge); beim Zerplatzen luftgefüllter kleiner Glaskugeln im luftverdünnten Raume; beim Zerspringen von hohlen und dünnen Glaskugeln von 2—3 Linien Durchmesser mit recht verdünnter Luft (man macht sie im Kohlenfeuer glühend und schmelzt sie schnell zu), wenn man sie auf den Boden fallen läßt; beim Abschießen der ersten Schüsse aus Windbüchsen; beim Eindringen der äußeren Luft in einen mit einer thierischen Blase überspannten Glaszylinder, wenn durch das Verdünnen der Luft in ihm die Blase gesprengt wird; beim Zerspalten von Zucker, von Krystallen, beim Zerspringen der sogen. Glasthränen. — In allen diesen Fällen setzt die plötzliche Bewegung eines massigen Stoffes den Weltäther in leuchtende Schwingungen.

So wie die tönenden und stehenden Luftschwingungen in einer Pfeife durch die fortschreitenden in der äußeren Luft uns hörbar werden, ebenso werden diese stehenden Aetherschwingungen innerhalb eines Körpers uns durch die fortschreitenden in dem außerhalb befindlichen Aether sichtbar.

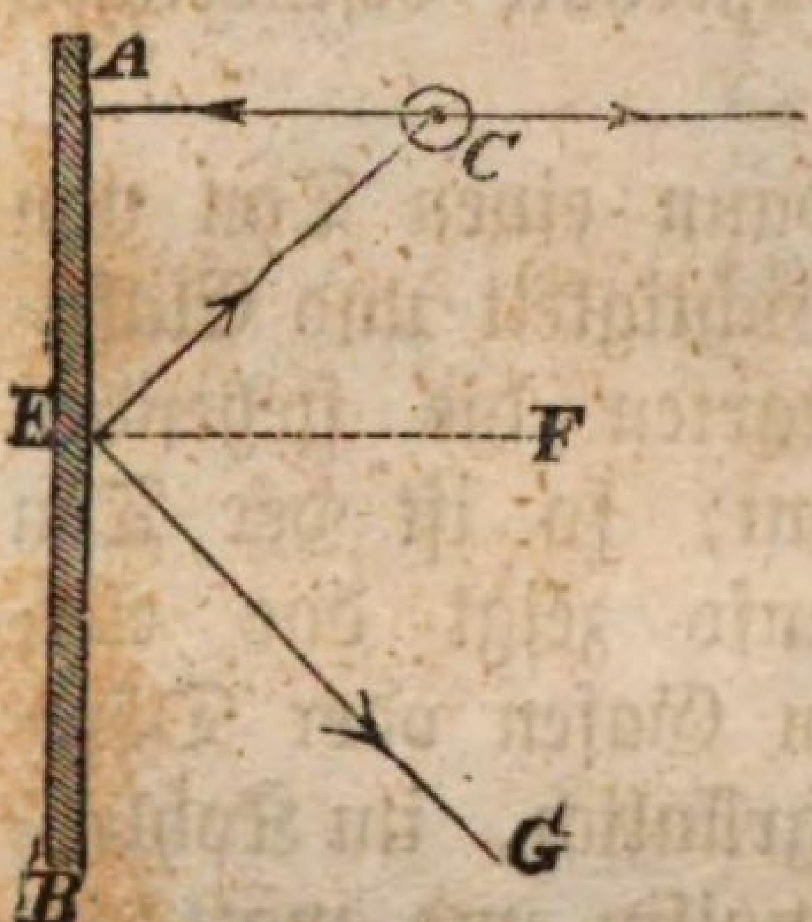
Eine Pfeife von bestimmter Länge gibt nur dann einen Ton von ganz bestimmter Höhe, wenn die Luft darin ihre Dichtigkeit und Elastizität nicht ändert. Bilden aber verschiedene Luftarten die stehenden Schwingungen oder wird die bestimmte Luft erwärmt, so ist der Ton ein anderer (wird durch Erwärmung höher). Ebenso zeigt das elektrische Licht verschiedene Farbentöne in verschiedenen Gasen oder Dämpfen: es ist z. B. im Alkohol- oder Aetherdampfe grünlich, im Kohlensäuregase lebhaft grünlichblau, im Wasserstoffe karmoisin und matt, im Stickstoffe purpurroth, in Salzsäure fast weiß. Wie aber die Verschiedenheit der Tonhöhe von der Beschaffenheit der schwingenden irdischen Körper abhängig ist, so ist der Farbenton des Lichtes von der durch die irdischen Körper bedingten Beschaffenheit des in ihnen vorhandenen Weltäthers abhängig. In beiden Fällen erleiden die Schwingungszahlen, also auch die Wellendicken Abänderungen, in jenem durch die irdischen Körper, in diesem durch den Weltäther.

So wie die stehenden Luftschwingungen einer tönenden Pfeife außerhalb derselben zu fortschreitenden werden, so erzeugen die stehenden Aetherschwingungen des elektrischen Funkens auch fortschreitende, durch welche in jenem Falle der Ton hörbar, in diesem der Funke sichtbar wird. Ebenso in anderen Fällen. Sehen wir z. B. eine glühende Eisenstange, so werden die stehenden Schwingungen in ihr durch die fortschreitenden außerhalb ihr für uns wahrnehmbar gemacht.

Erscheinungen, welche durch die Form der zurückwerfenden Körper bedingt sind.

Je mehr die an den Gränzen eines Körpers vorhandenen Theilchen in einer Fläche liegen, desto glatter ist der Körper; vollkommen glatte Oberflächen nennt man Spiegel. Steht reines Quecksilber in einem Gefäße ruhig, so bildet seine Oberfläche, wenigstens gegen die Mitte in einem größeren Gefäße, einen ebenen Spiegel, in einer engeren Röhre aber einen halbkugelförmigen; ähnlich ist es bei anderen Flüssigkeiten. Schöne Krystalle haben ebene spiegelnde Flächen; die Thautropfen aber Kugelflächen. Dreht man eine halbe Ellipse (Bd. I. S. 14) um ihre große Axe mn bis in ihre ursprüngliche Lage, so entsteht eine elliptisch gekrümmte Fläche. Schneidet man einen Kegel in der Richtung einer Seitenlinie mit einer Ebene, so heißt die Schnittfläche eine Parabel (Bd. I., S. 344); wird dieselbe nun um ihre Mittellinie oder Axe gedreht, so beschreibt die krumme Linie eine gekrümmte Fläche, welche man als innere Spiegelfläche eine Reverbere nennt.

1) Erscheinungen durch ebene Flächen und Spiegel.



(Fig. 274.)

Ist AB (Fig. 274) der Durchschnitt einer ebenen Wand und erregt man in C Schallwellen, so wird deren senkrecht auffallender Theil CA in sich selbst zurückgeworfen; der schiefe Schallstrahl CE mit dem Einfallwinkel CEF geht unter dem gleichen Ausfallswinkel FEG von E nach G und ein dort befindlicher Beobachter glaubt, außer dem von C aus unmittelbar zu ihm gelangenden Schalle noch einen von E kommenden Schall zu vernehmen, gleichwie man von C aus den von A zurückgeworfenen Schall auch hört, wenn nur die Entfernung der Wand so groß ist, daß eine zur Wahrnehmung nothwendige Zwischenzeit verfließt. — Nehmen wir an, daß man in 1 Sekunde 8 in gleichen Zeiten hervorgebrachte Töne oder Schalle überhaupt als einzelne selbstständige wahrnehmen kann und daß der Schall in 1 Sekunde den Weg von 32 . 32 Fuß zurücklegt; so hat er in $^1/_8$ Sekunde 4 . 32 Fuß durchlaufen. Wenn man also den in C während $^1/_8$ Sekunde hervorgebrachten Laut von A aus als einen selbstständigen hören will, so muß die Wand 2 . 32 = 64 Fuß entfernt sein, damit der Hinweg CA und Rückweg AC zusammen 4 . 32 Fuß betragen.

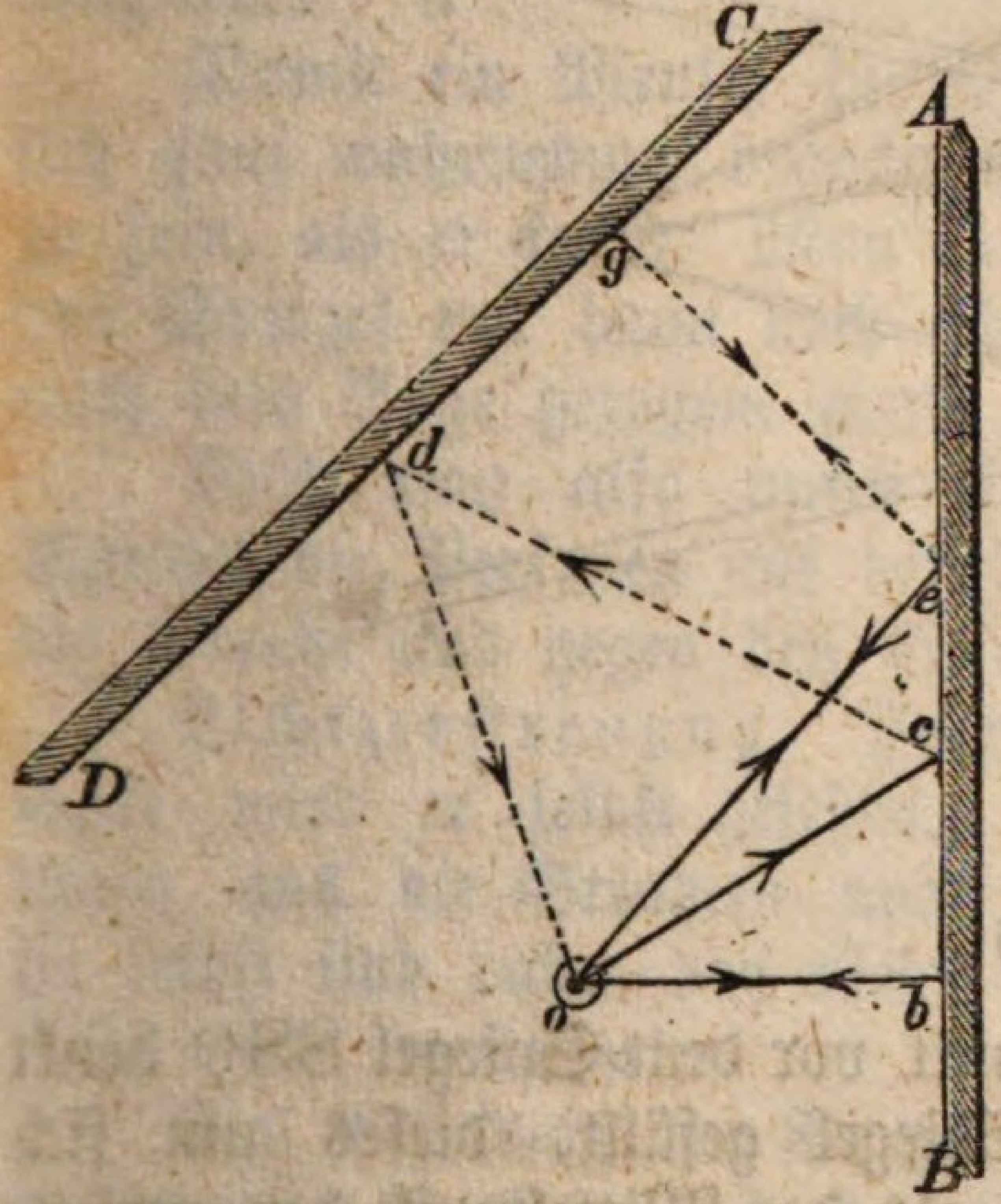
Ist die zurückwerfende Wand weniger weit als 64 Fuß von C entfernt, wie es z. B. in Zimmern der Fall ist, so fallen die beiden Schalle, der hervorgebrachte und der zurückgeworfene, fast zusammen und

der erste wird nur verstärkt, was man Nachhall nennt; den selbstständig wahrnehmbaren zurückgeworfenen Schall aber nennt man Echo.

In G würde man ein Echo des Schalles in C hören, wenn der Weg CE + EG um 4 . 32 Fuß größer wäre, als der grade Weg CG. — Bringt man in C hintereinander mehre Laute oder Silben, jede in $\frac{1}{8}$ Sek. hervor, so erscheint immer nur das Echo der letzten Silbe selbstständig, während die anderen zusammenfallen; soll also ein 2, 3, 4 . . . silbiges Echo entstehen, so muß die Wand 2, 3, 4...mal 64 Fuß von C entfernt sein.

Stehen zwei lothrechte Wände in hinreichender Entfernung einander parallel gegenüber, und erregt man in deren Mitte einen Schall, so hört man von beiden Wänden gleichzeitig, also ein verstärktes Echo; dieses tritt aber in diesem Falle wieder als ursprünglicher Schall auf, indem die Wellen von der einen Wand nach der anderen gehen und man hört somit ein vielfaches immer schwächer werdendes Echo, welches einen klagenden Charakter hat, indem selbst jedes einzelne gewissermaßen hinstirbt. — Bringt man den Schall nicht in der Mitte beider Wände hervor, so können schon die beiden ersten Echos der Zeit nach so weit aus einander liegen, daß sie selbstständig erscheinen und werden durch ihre Wiederholung eine große Vervielfältigung erzeugen. Ein hübsches Echo der Art ist u. a. zwischen den beiden hohen Mauern an dem sogen. großen Ueberfalle der Warthe in der Festung Posen.

Auch im Wasser hört man ein Echo durch die zurückwerfenden Ufer, was im Genfer See ermittelt worden ist.

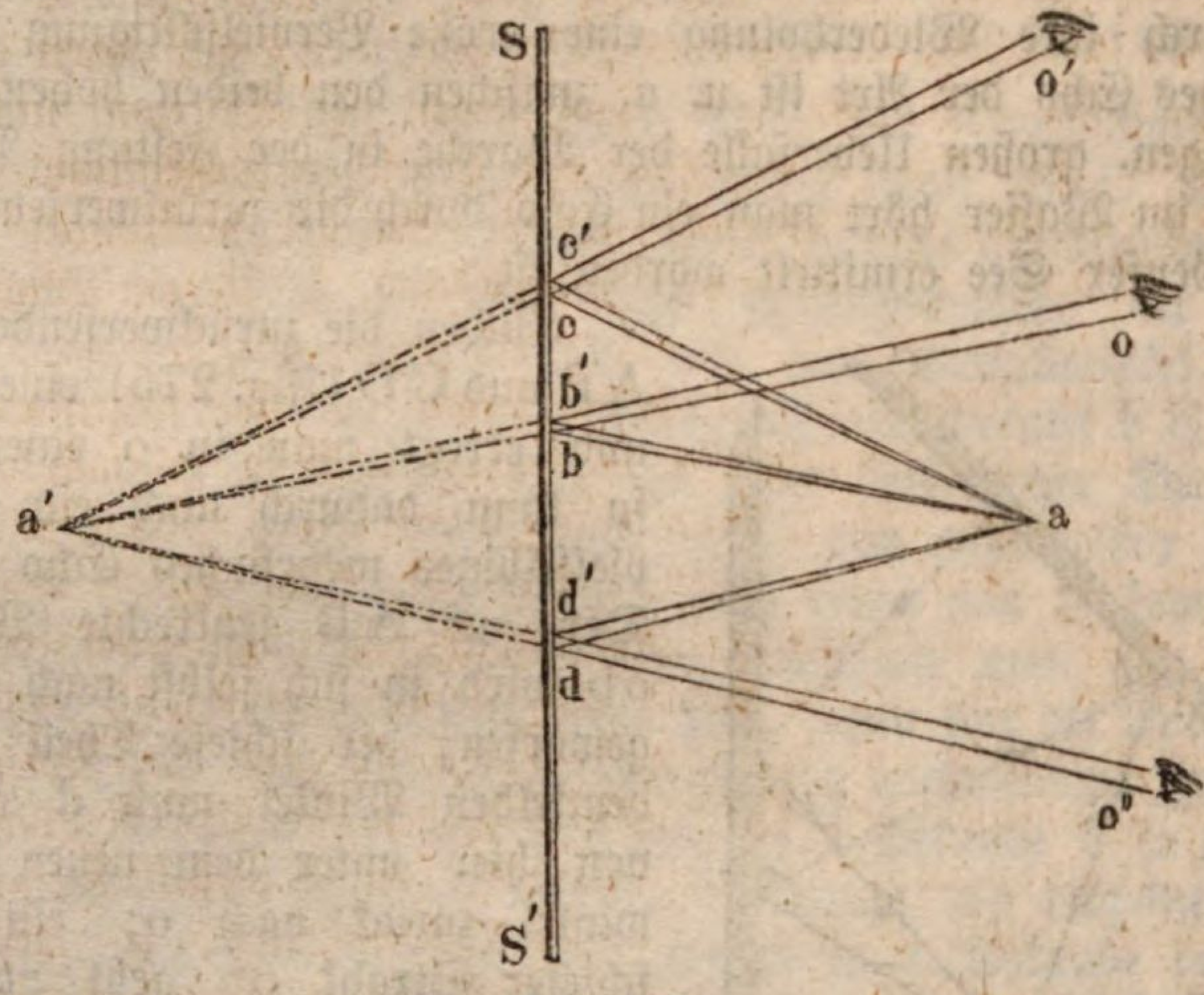


(Fig. 275.)

Bilden die zurückwerfenden Wände AB und CD (Fig. 275) einen Winkel und erregt man in o einen Schall, so kann dadurch auch ein ein- oder vielsilbiges mehrfaches Echo entstehen. Der auf AB senkrechte Wellentheil ob wird in sich selbst nach o zurückgeworfen; der schiefe Theil oc unter demselben Winkel nach d auf CD, von hier unter dem neuen Einfallswinkel zurück nach o; ein anderer schiefer Strahl oe geht von e aus lothrecht nach CD, wird von g aus in sich selbst zurückgeworfen und geht daher von e aus auch wieder nach o zurück. Man hört also in o bei gehöriger Differenz der Wege der drei zurückgeworfenen Wellentheile drei selbstständige Echos. Da aber von o aus auch nach der Wand CD unmittelbare Wellen gelangen und auch diese theils von CD allein, theils von CD und AB nach o

zurückgeworfen werden, so kann das Echo in o ein vielfaches sein. — Weil die Schallwellen selbst für hohe Töne eine ziemlich bedeutende Dicke haben, sind glatte Flächen für die Erzeugung eines Echos nicht unbedingt nothwendig: nicht nur rauhe Mauern und Felsen, sondern auch dichtes Strauchwerk, die Baumstämme an der Gränze eines Waldes, die Wolken und selbst eine ruhende Luftschicht eines langen Ganges sind geeignet, ein Echo zu erzeugen. Der gewaltige und die Erde in weitem Umkreise erschütternde Donner ist eine Echoerscheinung des mit der Gewitterentladung verbundenen einfachen Knalles: die dichteren und näheren Wolken werfen den Schall stärker und schneller zurück, als die lockeren und entfernteren und wegen der so vielgestaltigen Gruppirung derselben ist dieses Echo auch sehr zusammengesetzt, wobei später ankommende Echos oft stärker sind, als die früheren. So entsteht das Rollen des Donners.

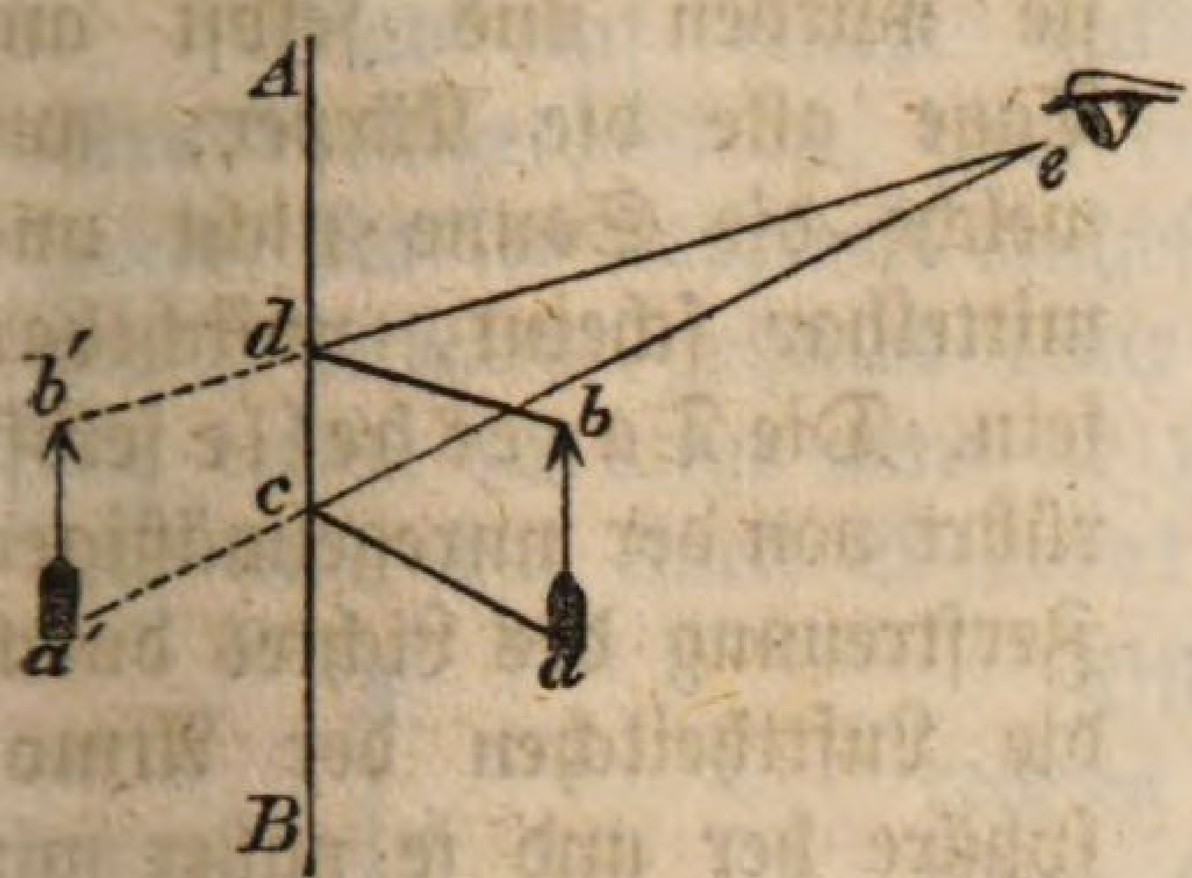
Sollen zurückgeworfene Lichtwellen einen lebhafteren Eindruck auf unser Auge hervorbringen, so müssen bei der geringen Dicke der Lichtwellen die Flächen möglichst vollkommene Spiegel sein und man braucht ein dicht zusammenliegendes Strahlenbündel.



(Fig. 276.)

Ist a (Fig. 276) ein leuchtender Punkt vor dem Spiegel SS′, denkt man sich von ihm das Loth auf den Spiegel gefällt, dieses um sich selbst verlängert, so ist sein Endpunkt a′ als der Mittelpunkt der zurückgeworfenen Wellen anzusehen. Wenn nun von a aus einzelne Strahlenbündel, wie acc′, abb′, add′, auf den Spiegel gehen, so werden die Strahlen von jedem unter demselben Winkel zurückgeworfen und divergiren dabei so, daß sie alle, rückwärts verlängert, in a′ einander treffen.

Jedes in der Richtung dieser drei und anderer zurückgeworfener Strahlenbündel befindliche Auge o, o′, o″ versetzt den Gegenstand a nach a′ hin, oder sieht ihn in der Richtung, in welcher das Auge von den Strahlen getroffen wird.



(Fig. 277.)

Ist nun vor einem ebenen Spiegel AB (Fig. 277) ein Gegenstand ab von größerer Ausdehnung, so findet man die Lage seines Spiegelbildes, wenn man von seinen äußersten Punkten a und b auf den Spiegel die beiden Lothrechten fällt und jede um sich selbst verlängert, wodurch man als Endpunkte a′ und b′, also als Bild a′b′ bekommt. Gehen von a und b nach dem Spiegel zwei schiefe Strahlen ac und bd, so werden die zurückgeworfenen Strahlen bei ihrer Verlängerung einander in e treffen und ein dort befindliches Auge sieht das Bild von a in der Richtung ec, das von b in der Richtung ed.

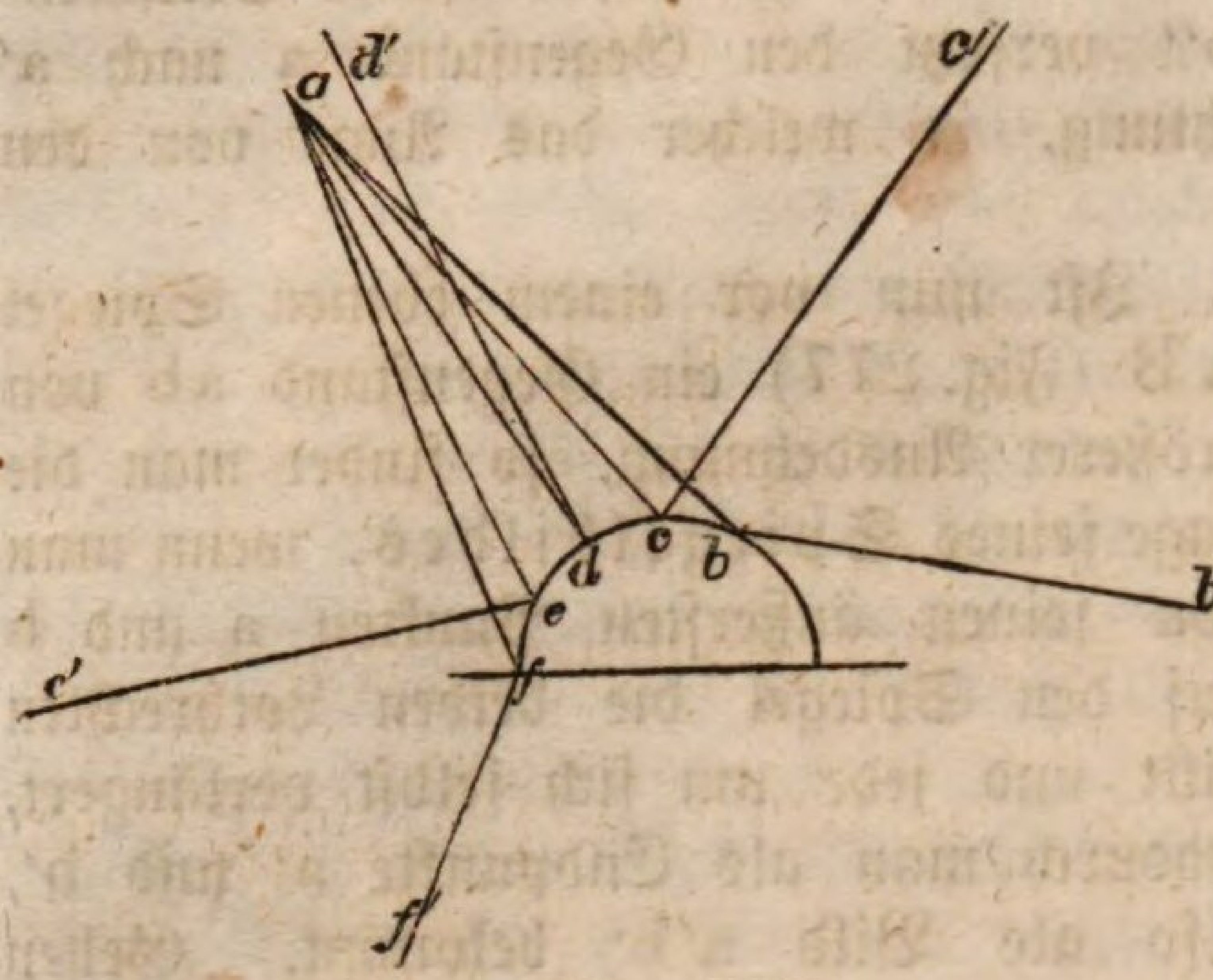
Das Spiegelbild zeigt die rechte Seite des Gegenstandes links und die linke Seite rechts, übrigens aber in derselben Lage gegen den Spiegel; neigt man daher einen Spiegel gegen den Horizont unter einem halben rechten Winkel, so erscheint ein liegender Gegenstand als Bild stehend und ein stehender liegend; ist der Spiegel horizontal (Wasserspiegel), so erscheint ein senkrechter Gegenstand, z. B. ein Baum, Haus umgekehrt.

Damit ein Mensch in einem mit ihm parallel stehenden Spiegel sich ganz wahrnehme, braucht der Spiegel nur halb so hoch und breit zu sein, als er selbst. Man kann einen Punkt eines Gegenstandes durch den Spiegel nur dann noch sehen, wenn die vom Bilde des Punktes nach dem Auge gezogene grade Linie die Spiegelfläche noch trifft.

Will man also durch einen am Fenster außerhalb angebrachten Spiegel die Personen auf der Straße sehen, so muß der Spiegel gegen die Straße und gegen den Beschauer eine dem gemäße Neigung haben.

Lichtzerstreuung. Je vollkommener ein Spiegel ist, desto weniger wird er selbst gesehen. Hat er Unebenheiten, so werden von ihnen aus die Strahlen nach sehr verschiedenen Seiten geworfen und sie selbst sind daher von vielen Seiten sichtbar. Man sagt dann: das Licht wird zerstreut.

Fig. 278 mag den Vorgang mittelst einer allerdings sehr auffällig gezeichneten Unebenheit verdeutlichen. Ist a der leuchtende Punkt, fallen in f, e, d, c, b Strahlen von ihm auf, so werden sie, jeder unter seinen Einfallswinkel zurückgeworfen und zwar nach f′, e′, d′, c′, b′, so daß ein Auge in allen diesen Richtungen das Licht von dem Punkte a sieht.

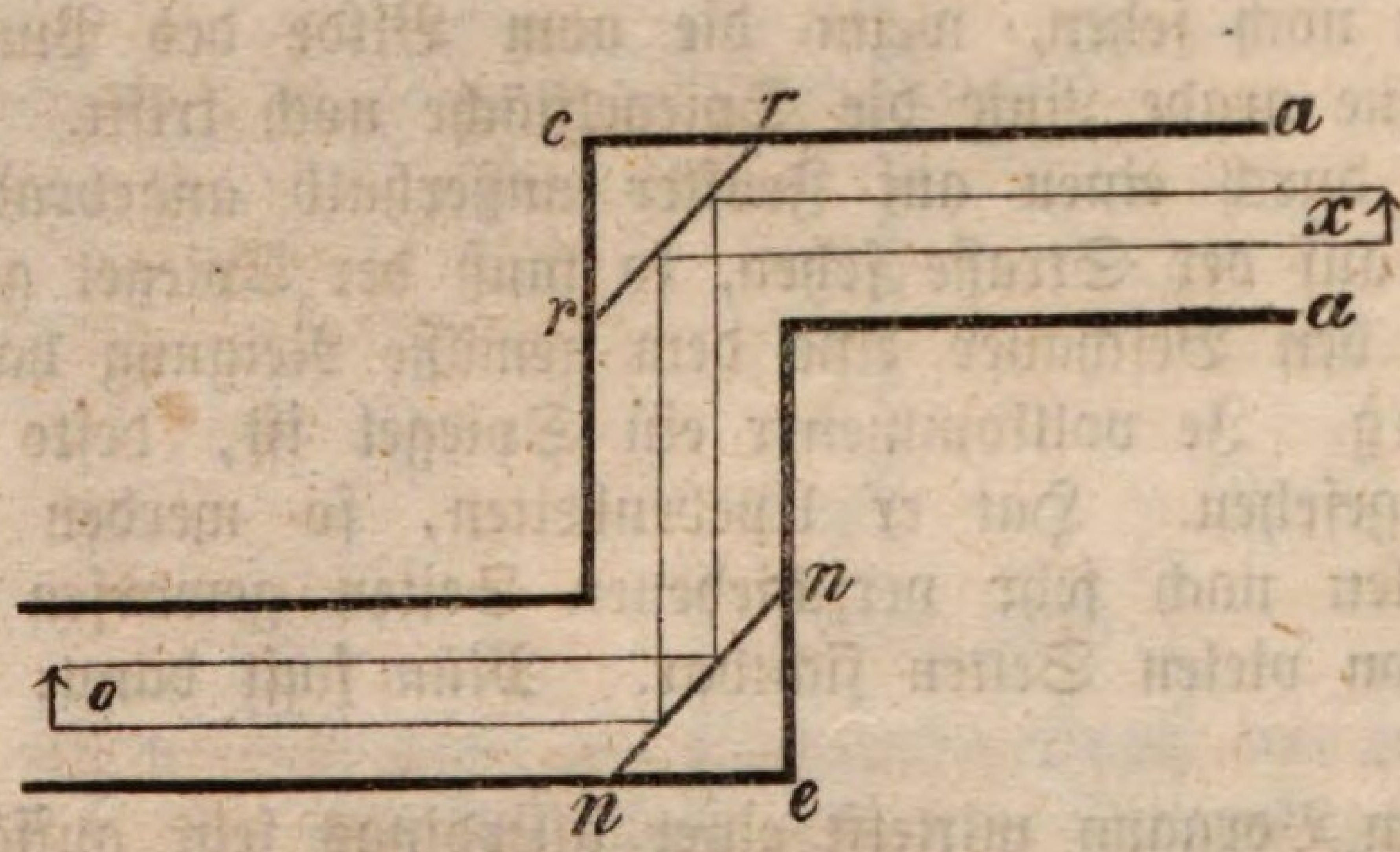


(Fig. 278.)

Nur durch diese unregelmäßige Zurückwerfung sind uns die Körper, welche nicht selbst leuchten, sichtbar; ohne sie würden uns selbst am Tage alle die Körper, auf welche die Sonne nicht unmittelbar scheint, unsichtbar sein. Die Tageshelle selbst rührt von der unregelmäßigen Zerstreuung des Lichtes durch die Lufttheilchen der Atmosphäre her und je näher wir uns der Erdoberfläche befinden, desto mehr geht von dem unmittelbaren Sonnenlichte durch Zerstreuung verloren. Je klarer die Luft ist, desto geringer ist zwar die Tageshelle, desto größer aber die direkte Beleuchtung eines Gegenstandes.

Je weniger ein Körper Licht zurückwirft, desto weniger ist er uns sichtbar; gäbe es Körper, welche gar kein Licht zurückwärfen, so wären sie als absolut schwarze uns unsichtbar; aber selbst einer der schwärzesten, nämlich der Kienruß, wirft noch viele Lichtstrahlen zurück. — Die Planeten, ihre Monde, die Kometen sind für uns nur durch das von ihnen zu uns zurückgeworfene Sonnenlicht sichtbar. Das Mondlicht ist gewissermaßen ein Echo des Sonnenlichtes.

Parallel einander gegenüber gestellte Spiegel würden einen leuchtenden Punkt unendlich oft zeigen, wenn die Unvollkommenheit selbst der besten Spiegel die Bilder nicht bald undeutlicher machte.

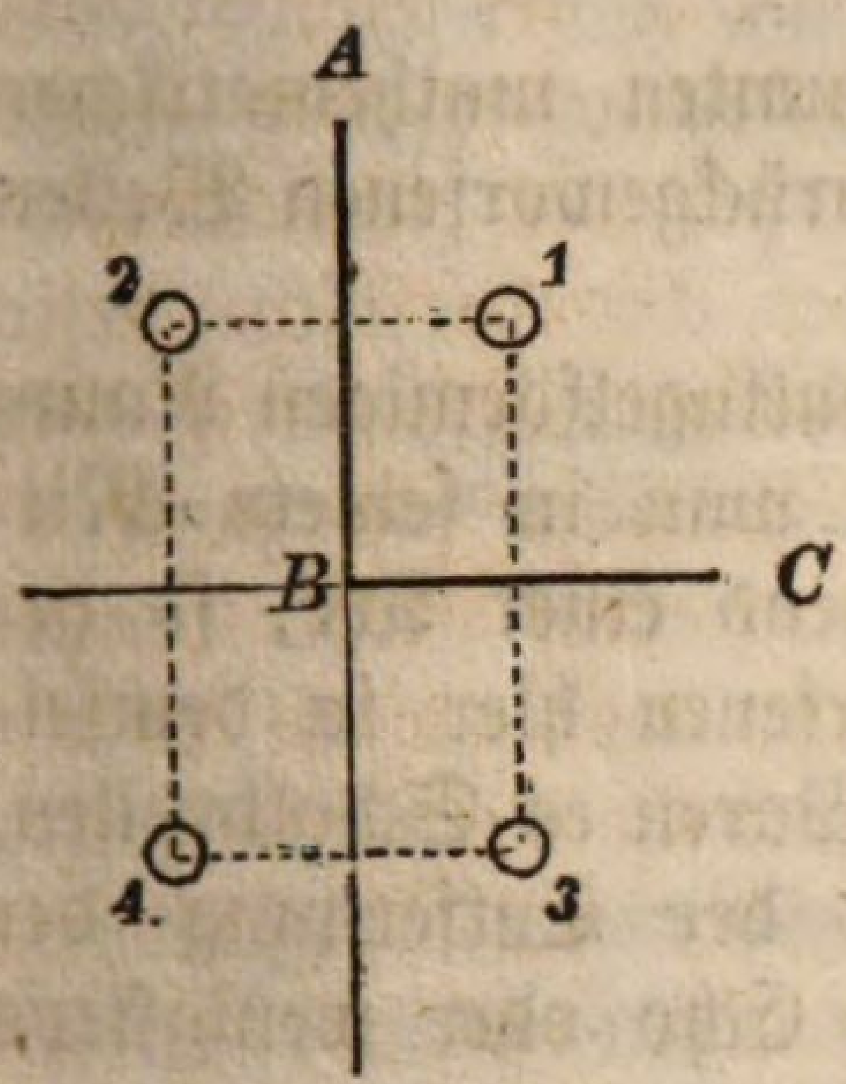


(Fig. 279.)

Hat man eine doppelt gebogene Röhre aceo (Fig. 279), deren Mittelglied auf den beiden anderen lothrecht steht und befinden sich in den beiden Knieen zwei parallele, einander zugewendete Spiegel rr und nn unter einer Neigung von 45° gegen die Röhrentheile; so sieht man von o aus einen entfernten Gegenstand vor x in seiner richtigen Lage, denn durch den Spiegel rr wird der stehende Gegenstand als Bild liegend und dieses liegende Bild wird durch nn wieder stehend gemacht. Man hat dieses Instrument Polemoskop genannt, weil man

im Kriege hinter einem Walle u. dergl. ungefährdet sehen kann, was vor dem Walle vorgeht, indem man nur das Stück ca über den Wall hält. Für diesen Zweck wird das Mittelstück ce eine angemessene Länge haben müssen.

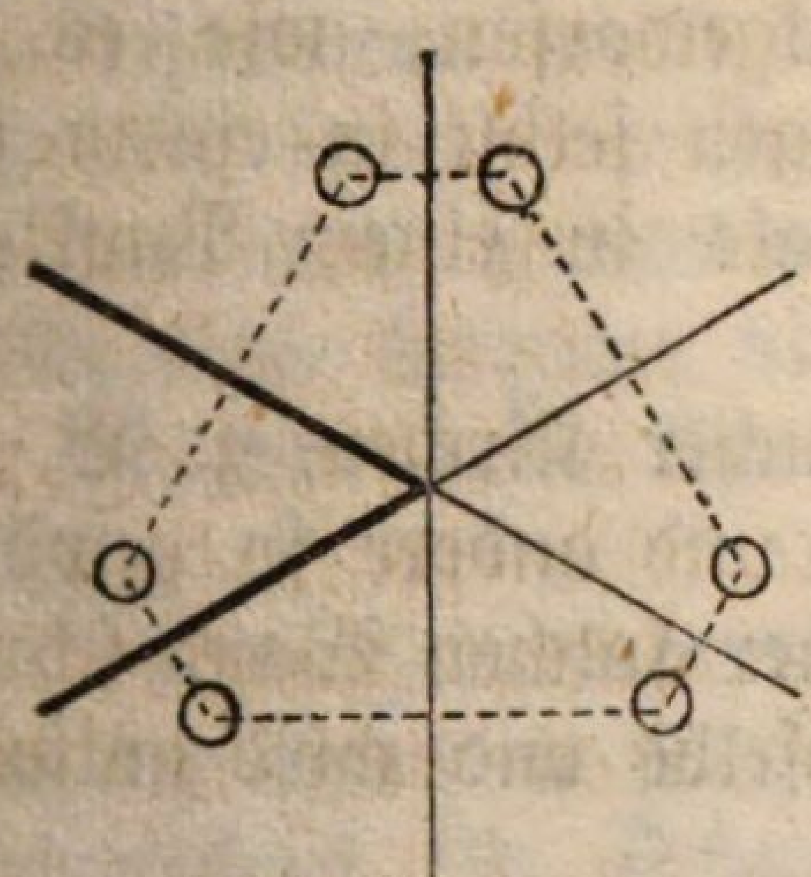
Sind auf einem halbkreisförmigen Brettchen, dessen Bogen in Grade eingetheilt ist, zwei einander zugekehrte Spiegel in der Richtung zweier Radien lothrecht aufgestellt und sind sie um die durch den Mittelpunkt lothrecht gehende Linie als eine ihrer Kanten drehbar (wenigstens der eine); so kann man sie unter beliebigen Winkeln zu einander stellen und man hat einen Winkelspiegel.

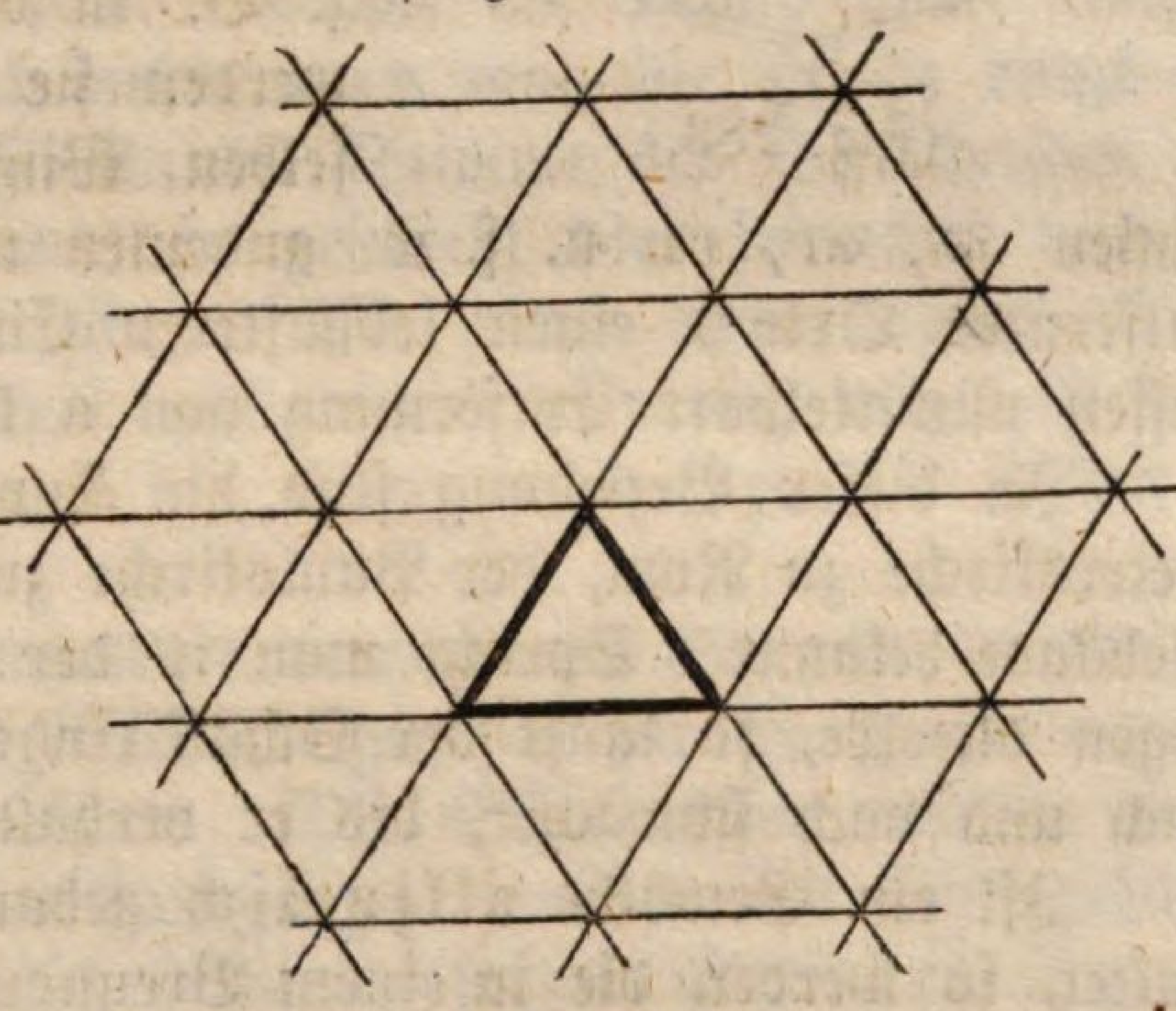


(Fig. 280.)

Bilden sie (Fig. 280) wie AB und BC einen rechten Winkel, so zeigt sich ein dazwischen befindlicher Gegenstand 1 durch den Spiegel AB als Bild in 2 und durch BC als Bild in 3; aber das Bild 2 ist für BC ein Gegenstand und hat sein Bild in 4; ebenso ist das Bild des Bildes 3 durch den Spiegel BA in 4. Ein außerhalb zwischen den Spiegeln befindliches Auge sieht also einen Gegenstand 4 mal.

Wäre der Winkel 60 Grade (Fig. 281), so erschiene der Gegenstand sechsmal in paarweise oder in überhaupt gleichen Abständen, je nach der Lage des Gegenstandes gegen die beiden Spiegel.


(Fig. 281.)


(Fig. 282.)

Bringt man drei Spiegel, welche die Form von übereinstimmenden Oblongen haben, mit ihren langen Seitenkanten zu einem offenen Prisma aneinander (Fig. 282), so erscheint das Gesichtsfeld beim Hineinsehen von dem einen Ende aus in lauter gleichseitige Dreiecke aufgelöst und ein Gegenstand an dem anderen Ende in gleicher Weise vervielfacht. — Schließt man solche Winkelspiegel in ein etwa 10 Zoll langes Rohr von 2 Zoll Durchmesser ein, läßt an dem einen Ende eine nur kleine

Oeffnung zum Hineinsehen, schließt man das andere Ende mit zwei etwa ½ Zoll von einander entfernten Gläsern, von denen das äußere matt geschliffen ist, und bringt man in den Zwischenraum mancherlei bunte kleine Gegenstände; so gewährt dieses Kaleidoskop durch die Mannigfaltigkeit der Bildergruppen eine angenehme Unterhaltung. Bei der Drehung der Röhre kommen die Gegenstände in eine andere Lage und zeigen auch ein anderes Bild. Die Winkel können auch abgeändert werden.

2) Erscheinungen durch mathematisch gekrümmte Flächen.

Haben Flächen eine Krümmung nach bestimmten mathematischen Gesetzen, so ergeben sich auch für die von ihnen zurückgeworfenen Wellen aller Art bestimmte Regeln.



(Fig. 283.)

Hat man einen hohlkugelförmigen Raum (Fig. 283) und erregt man in seinem Mittelpunkte o Wellen irgend einer Art, so gelangen die zurückgeworfenen hier in demselben Augenblicke an. Waren es Schallwellen, so geben sie je nach der Entfernung der Kugelfläche ein starkes Echo oder wenigstens einen starken Nachhall.

Erregt man in der Nähe der Wand, z. B. in der Richtung ac die Wellen, so werden sie ringsum wiederholt unter demselben Winkel zurückgeworfen, wie es die Linien ce, er, rn u. s. w. andeuten und erzeugen selbst in einem sehr entfernten Orte x einen lebhafteren Eindruck, als in einem Punkte s, dessen unmittelbare Entfernung von a kleiner ist.

In dieser Beziehung sind die Kuppeln mancher Kirchen, z. B. der Peterskirche zu Rom, der Paulskirche zu London und andere so gewölbte Gebäude bekannt. Spricht man in der Nähe einer solchen Wand schräge gegen dieselbe, so lauft der Schall rings um dieselbe und wird natürlich nach und nach schwächer, bis er verhallt ist.

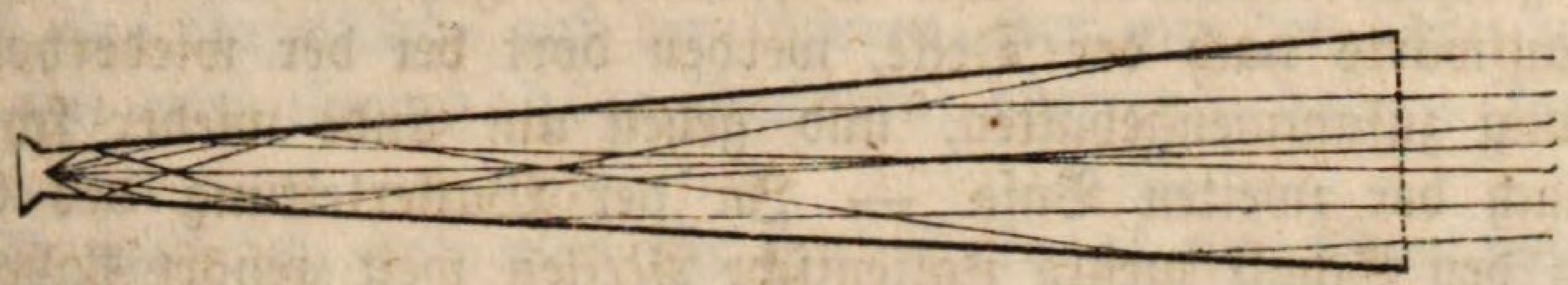
Ist ein Gewölbe elliptisch gebaut oder ein Spiegel elliptisch gestaltet, so werden die in einem Brennpunkte erregten Schall-, Licht- oder Wärmewellen von der inneren Fläche so zurückgeworfen, daß sie gleichzeitig in dem anderen Brennpunkte ankommen und dort einen fast ungeschwächten Eindruck hervorbringen, während derselbe in allen anderen Punkten geringer ist. Die gleichzeitige Ankunft beruht in dem Wesen der Ellipse (Bd. I. S. 14).

Selbst wenn man zwei durch eine ziemliche Entfernung getrennte Stücke von solchen Spiegeln einander grade gegenüber hält, so daß die Mittelpunkte der Spiegel und die der Spiegelstücke in einer graden Linie

liegen, zeigt sich diese Erscheinung in ganz bestimmten Stellen vor den Spiegeln.

Für diesen Zweck sind parabolisch (Bd. I. S. 344) ausgehöhlte Spiegel besser, weil die von dem Brennpunkte des einen Spiegels ausgehenden Strahlen von ihm parallel nach dem anderen zurückgeworfen werden und sich im Brennpunkte dieses zweiten Spiegels wieder sammeln.

Parabolische Reverberen sind für die Leuchtthürme wichtig, weil sie die zurückgeworfenen Lichtstrahlen parallel machen und somit auf große Entfernungen die Lichtstärke erhalten, so daß auf deren Abschwächung nur die Beschaffenheit der Atmosphäre Einfluß hat. Sie würden also auf ungeheure Strecken leuchten, wenn nicht die Luft und Dünste eine Zerstreuung des Lichtes bewirkten.



(Fig. 284.)

Zur weiten Fortpflanzung des Schalles sind in dieser Beziehung die Sprachröhre wichtig (Fig 284), denn spricht man in das am engeren Ende befindliche Mundstück, so werden die Schallwellen auf der inneren Kegelfläche so zurückgeworfen, daß ihre Strahlen bei dem Heraustritte so ziemlich parallel sind. Schon der Mund wirkt einigermaßen als Sprachrohr und noch mehr, wenn man die Hände rings um ihn legt; denn wenn man im Freien die Stimme des Sprechenden vor ihm auf etwa 100 Fuß vernimmt, so geschieht dies seitwärts nur auf 75 und nach hinten nur auf 30 Fuß. Die Länge eines Sprachrohres, welches die Stimme bis auf eine 1 ½ stündige Entfernung trägt, ist etwa zu 52, der kleine Durchmesser zu 1 ½, der größere zu 13 Zollen zu nehmen.

Das Hörrohr ist ein umgekehrt verwendetes Sprachrohr von bedeutend kleineren Abmessungen, welches eigentlich zur Vergrößerung der Ohrmuschel für Schwerhörige dient. Die Schallwellen werden durch Zurückwerfung nach dem engeren Ausgange, welcher ins Ohr gehalten wird, verstärkt. — Das historisch bekannte sogen. Ohr des Tyrannen Dionysius war ein gewölbtes Gefängniß in den Steinbrüchen von Syrakus, dessen Wände die Wellen nach einer oberhalb befindlichen Oeffnung warfen, wo sie verstärkt ankamen, so daß man auch ein leises Gespräch im Gefängnisse durch die Oeffnung wohl vernehmen konnte.

Die Kommunikationsröhren sind zylindrische Röhren, welche dazu dienen, selbst auf sehr große Entfernungen zu sprechen oder einen Schall überhaupt zu vernehmen. Biot hörte durch eine fast 3000 Fuß (951 Meter) lange Röhre das Ticken einer Taschenuhr noch sehr deut-

lich. Es ist natürlich, daß die Fortpflanzung in graden Röhren am besten geschieht, daß rechte und spitze Winkel ganz vermieden werden müssen und daß bei Veränderung der Richtung eine möglichst allmählige Biegung zu machen ist. Solche Kommunikationsröhren werden in Wohn- und Geschäftsräumen, auf Schiffen und anderwärts noch viel weniger angewendet, als es zur Bequemlichkeit und Zeitersparniß wünschenswerth wäre.

Diese Wirkung der zylinderförmigen Röhren zeigt sich selbst im Großen. In dem Karyatidensaale des Louvre zu Paris ist die Decke zylinderförmig gewölbt, so daß die Axe mit der Längenausdehnung des Saales parallel geht. Wenn man in die eine der beiden Vasen, welche an den Enden stehen, spricht, so hört man den Schall gewissermaßen aus der zweiten kommen. Die Schallwellen gehen von der ersten Vase schräge aufwärts nach der Decke, werden dort bei der wiederholten Zurückwerfung zusammengehalten, und gehen am Ende wieder schräge abwärts nach der zweiten Vase. — In der Wasserleitung des Claudius soll man den Schall mehre italienische Meilen weit gehört haben. Auch Schachte, Brunnen, Schornsteine, Luftheizungskanäle pflanzen den Schall weit fort.

Die Wirksamkeit der Kommunikationsröhren hat man auch dazu benutzt, um Leute, welche nicht gewohnt sind, sehr nachzudenken, durch mancherlei Vorrichtungen, denen man u. a. die Namen: das unsichtbare Mädchen, der wahrsagende Türke, das akustische Orakel gab, arg zu täuschen. Von dem Munde einer Figur, welche in einem Zimmer scheinbar frei stand, ging durch ihr Inneres und den Fußboden, von da aus weiter unterhalb bis in ein benachbartes Gemach, welches nur durch eine ganz dünne Wand getrennt war, ein Kommunikationsrohr. Richtete man nun an die Figur eine Frage, so konnte von einer im Nebengemache befindlichen Person leicht eine passende Antwort mittelst des Rohres gegeben werden, weil sie ja die Frage gehört hatte. — Statt einer Figur läßt sich an der Decke eines kleinen Tempels eine Kugel mit einer trompetenartigen Oeffnung anbringen. Der Verbindungsschlauch ist dann in der etwas dicken Schnur zum Aufhängen der Kugel und geht von der Decke an versteckt weiter.

Soll ein Saal zu musikalischen und rhetorischen Aufführungen geeignet, also akustisch gebaut sein, so muß der Schall an dem Entstehungsorte möglichst zusammengehalten und von da aus theils unmittelbar, theils durch Zurückwerfung nach dem Zuhörerraume gelangen. Theoretisch betrachtet würde ein Sprechender am besten vernommen werden, wenn sein Mund im Brennpunkte eines parabolischen Gewölbes sich befände. Wenn diese Form nicht genommen wird, so ist es angemessen, an den Seitenwänden geneigte Flächen anzubringen, daß sie den ankommenden Schall weiter vorwärts, nicht aber zurückwerfen oder etwa, daß sich die Schallwellen durch wiederholte Zurückwerfung verfangen.

Wenn durch die Wände ein Nachhall erzeugt wird, so ist dieses, namentlich beim schnellen Sprechen, für die deutliche Wahrnehmung sehr nachtheilig und die Wände sind dann mit wenig elastischen Gegenständen zu bekleiden. Es wird sich in einem bestimmten Saale an der Stelle am vernehmlichsten sprechen lassen, an welcher der Sprechende seine Stimme selbst stärker zu hören glaubt; nur darf er dann nicht allzuschnell sprechen. — In einem leeren Zimmer klingt die Stimme wegen der gleichmäßigeren Zurückwerfung der Schallwellen stärker, als in einem mit vielerlei Sachen besetzten und bekleideten.

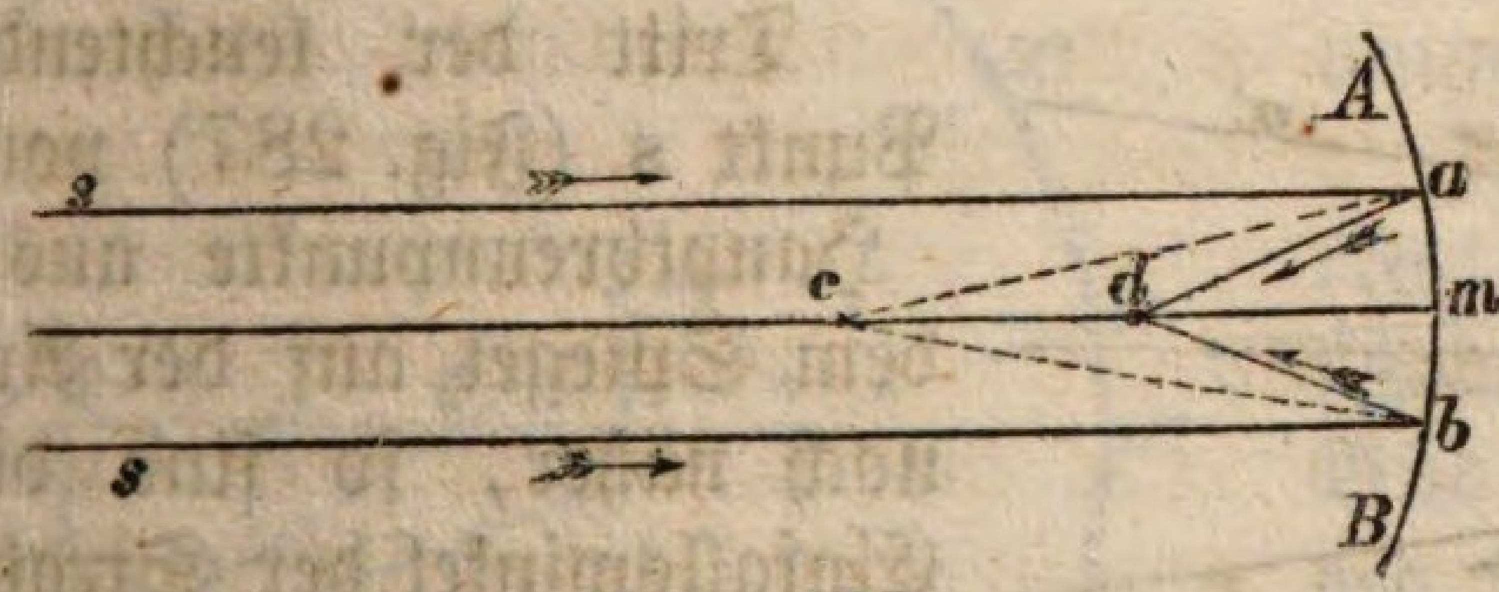
Lichtwellenzurückwerfung durch Kugelspiegel.

Für die Lichtwellen besonders sind die Kugelspiegel wichtig. Jenachdem eine Kugelfläche auf der inneren oder auf der äußeren Seite polirt ist, hat man einen hohlen (konkaven) oder erhabenen (konvexen) Spiegel.

Es ist natürlich, daß man für Hohlspiegel nur einen von einem Kreise begränzten Abschnitt der Kugelfläche gebraucht. Wenn man den Mittelpunkt einer solchen Kugelkappe mit dem Mittelpunkte der dazu gehörigen Kugel verbindet, so heißt diese grade Linie die Axe des Spiegels.

Um die Lage und Größe der durch solche Spiegel erzeugten Bilder zu ermitteln, müssen wir zunächst die Lage des Bildes von einem einzelnen leuchtenden Punkte angeben, welcher entweder in der Axe liegt oder außerhalb ihr.

Kämen die Lichtstrahlen von einem unendlich entfernten in der Axe liegenden Punkte, so würden die auf den Spiegel fallenden Strahlen parallel sein. Wegen der außerordentlich großen Entfernung der Sonne von uns, können wir die auf den verhältnißmäßig sehr engen Raum eines solchen Spiegels fallenden Strahlen, ohne einen bemerkenswerthen Fehler zu begehen, als parallel ansehen. Halten wir nun den Spiegel (Fig. 285), von welchem AB den Durchschnitt bedeuten soll, der Sonne so gegenüber, daß die auffallenden Strahlen, z. B. sa und sb mit der Axe cm parallel gehen, und zeichnet man die Spiegelradien ca und cb nach den Einfallspunkten a und b, so sind sac und sbc die Einfallswinkel, weil die Radien ca und cb auf den getroffenen Stellen, zu denen man sich die Tangenten denken muß, lothrecht stehen. Werden nun diese Einfallswinkel auf die entgegengesetzten Seiten der Strahlen in derselben Ebene übergetragen, so erhält man die zurückgeworfenen Strahlen ad und bd, welche einander in dem Punkte d der Axe treffen.



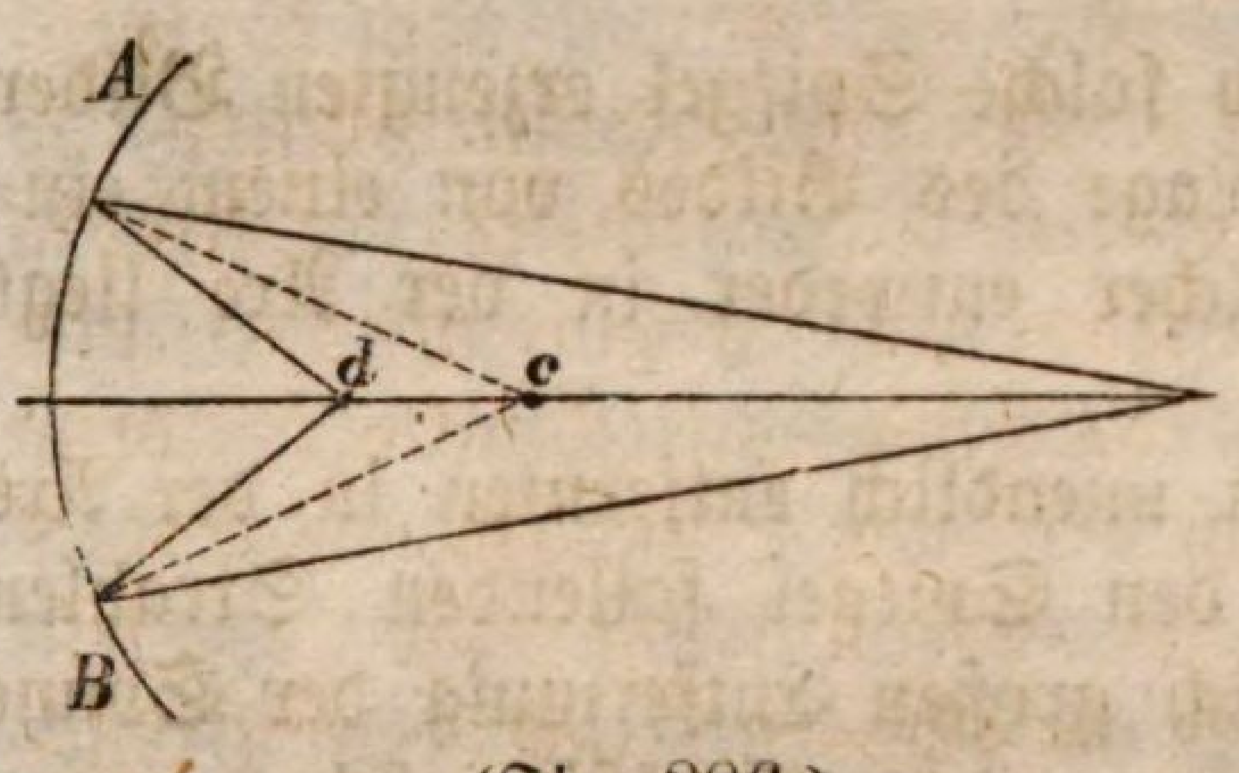
(Fig. 285.)

Je näher die parallel auffallenden Strahlen der Axe liegen, desto genauer treffen die zurückgeworfenen einander in dem Punkte d, welcher der Halbirungspunkt des Strahles cm ist. Kommen in dieser Weise **Wärmestrahlen** auf den Spiegel, also z. B. die mit den Lichtstrahlen der Sonne gleichzeitig ausgehenden Wärmestrahlen, so kann in d eine so bedeutende Hitze entstehen, daß ein daselbst befindlicher und leicht brennbarer Gegenstand anbrennt und daher heißt dieser Punkt d der **Hauptbrennpunkt** und seine Entfernung dm vom Spiegel die **Brennweite** und ein solcher Spiegel ein **Brennspiegel**.

Es wird erzählt, daß Archimedes feindliche römische Schiffe bei der Belagerung von Syrakus, 213 v. Chr., mittelst eines Brennspiegels angezündet habe. Dieser Spiegel wird wohl aus ganz kleinen ebenen Spiegeln zu einem großen mit kugelähnlicher Form und großem Radius zusammengesetzt gewesen sein, weil man so große Kugelhohlspiegel zu schleifen nicht vermochte.

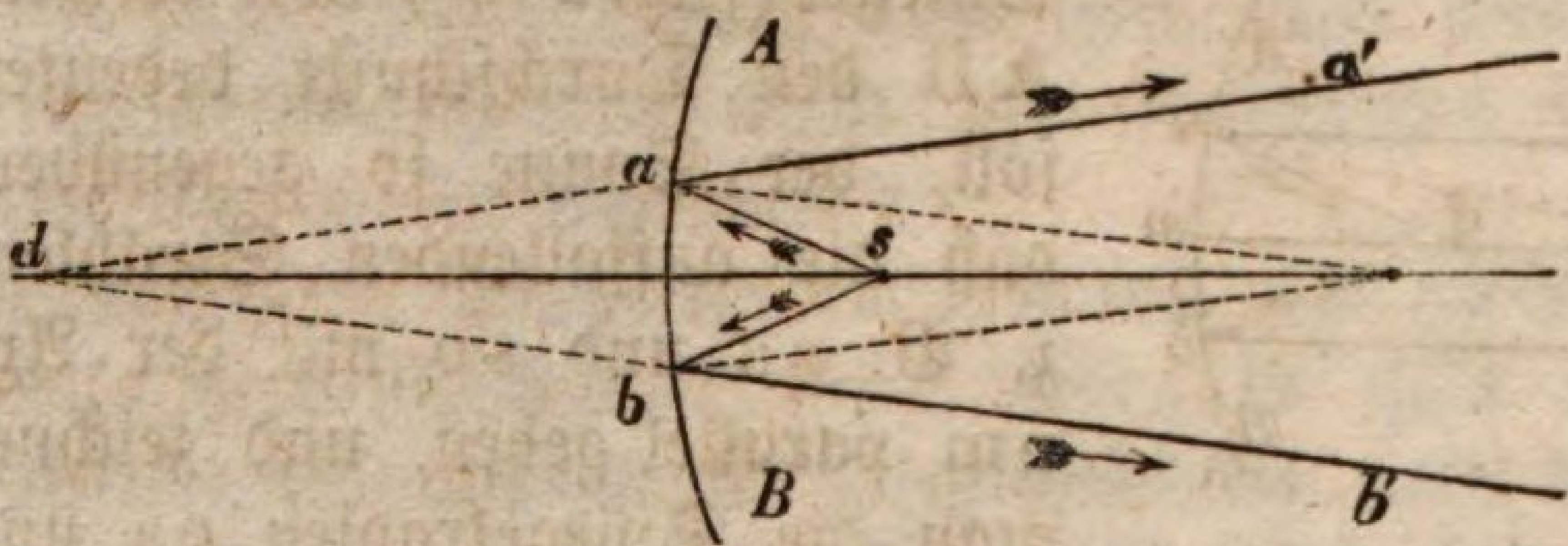
Wenn der leuchtende Punkt in d wäre, so würden die Strahlen nach der Zurückwerfung parallel sein und ein Bild des Punktes nicht geben können.

Rückt der leuchtende Punkt aus der unendlichen Entfernung auf der Axe dem Punkte d näher (Fig. 286), so fallen seine Strahlen divergent, d. h. auseinandergehend, auf den Spiegel, bilden also mit den als Einfallslothen anzusehenden Strahlen kleinere Winkel als im vorigen Falle, so daß auch die Ausfallswinkel kleiner sind und das Bild des Punktes muß sich von dem Spiegel und dem Brennpunkte entfernen. Ist der leuchtende Punkt im Krümmungsmittelpunkte c, so ist auch sein Bild dort; sowie aber jener dem Spiegel noch näher kommt, entfernt sich dieser von c.



(Fig. 286.)

Tritt der leuchtende Punkt s (Fig. 287) vom Hauptbrennpunkte aus dem Spiegel auf der Axe noch näher, so sind die Einfallswinkel der Strahlen sa und sb größer, als es im Brennpunkte der Fall war und die zurückgeworfenen Strahlen aa′ und bb′ divergiren vom Spiegel an oder sie fahren auseinander und können nach dieser Seite ein wirksames Bild des Punktes nicht bilden, wohl aber erscheint dasselbe im Punkte d hinter dem Spiegel, welcher der Treffungspunkt ihrer Verlängerung ist. Je näher s dem Spiegel kommt, desto mehr

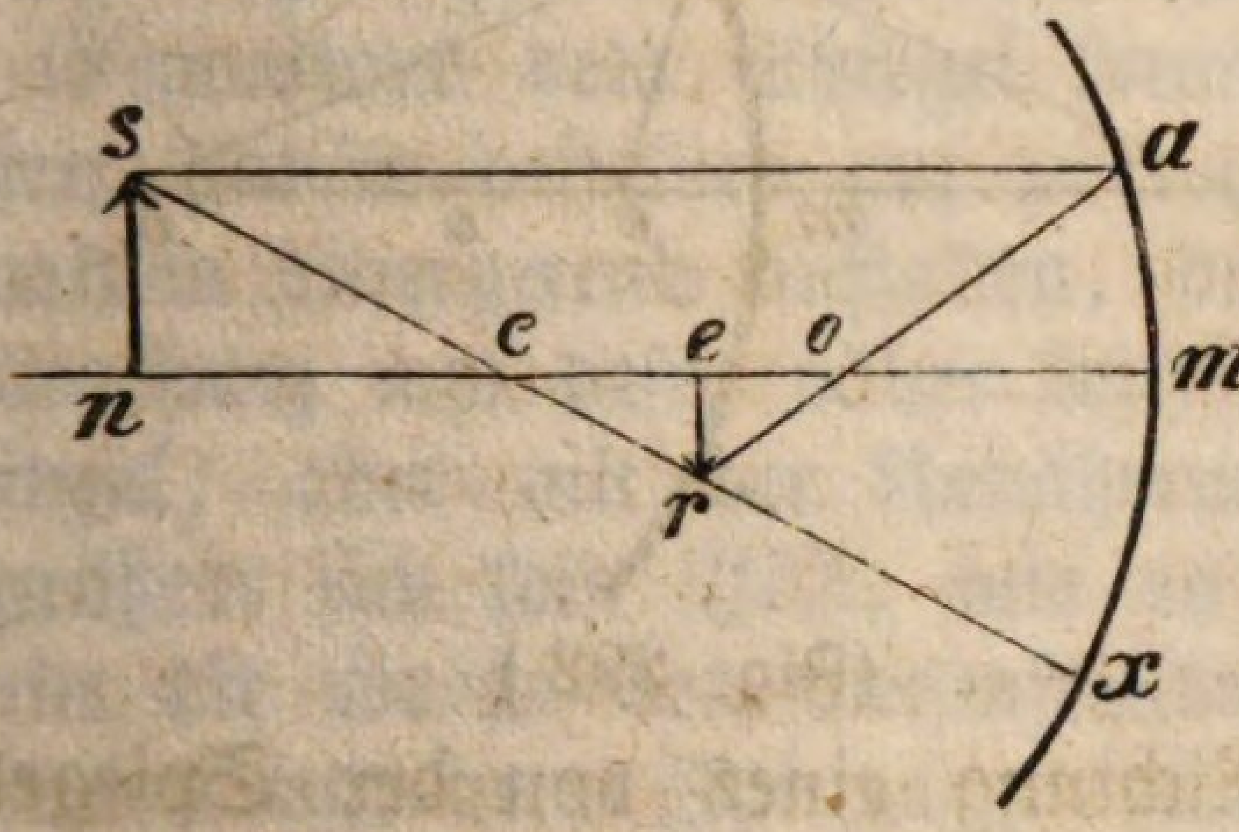


(Fig. 287.)

divergiren seine zurückgeworfenen Strahlen, desto eher also und dem Spiegel auf der Rückseite näher muß das Bild entstehen.

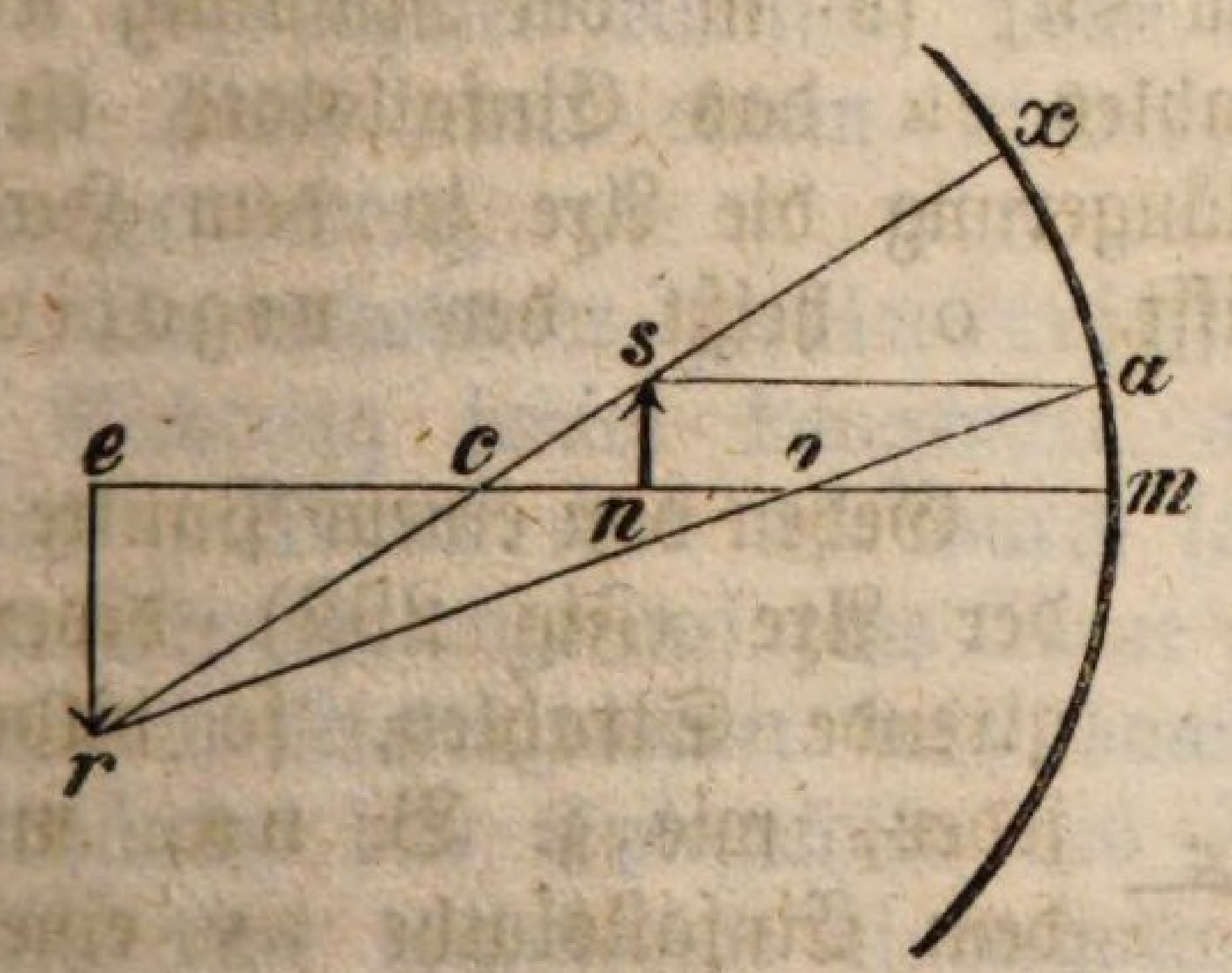
Je nach der Lage des leuchtenden Punktes entsteht also beim Hohlspiegel sein Bild entweder vor ihm und kann mittelst eines mattgeschliffenen weißen Glases oder eines durchscheinenden Papieres in der Luft aufgefangen werden oder es entsteht hinter ihm: in jenem Falle heißt es ein physisches, in diesem ein mathematisches Bild. Die Bilder bei ebenen Spiegeln waren nur mathematische.

Will man die Lage des Bildes eines außerhalb der Axe befindlichen Punktes erhalten, so braucht man nur den Durchschnittspunkt zweier vom Spiegel zurückgeworfenen und von ihm ausgegangenen Strahlen bestimmen und zwar des durch den Krümmungsmittelpunkt gegangenen Hauptstrahles und des mit der Axe parallel auffallenden; jener wird in sich selbst zurückgeworfen, dieser nach dem Hauptbrennpunkte, so daß dann ihr Durchschnittspunkt der Sammelpunkt (Brennpunkt) aller zurückgeworfenen Strahlen ist und das Bild des Punktes gibt. Wir können dann, wenn wir die Lage des Bildes von einem in der Axe befindlichen Punkte dazu nehmen, sofort die nöthigen Aufschlüsse über die Lage, Größe und Entfernung der Bilder ganzer Gegenstände erhalten.



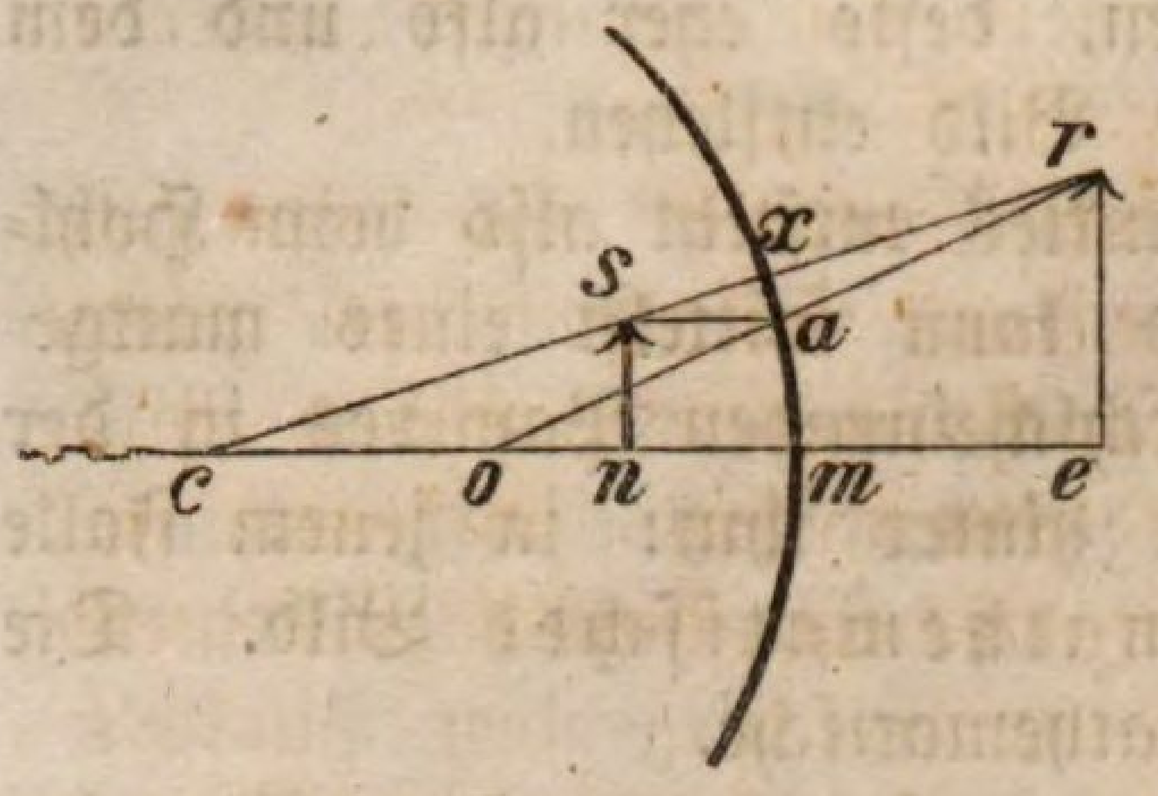
(Fig. 288.)

Ist der leuchtende Punkt s (Fig. 288) in größerer Entfernung vom Spiegel, als der Krümmungsmittelpnnkt, so erscheint sein Bild jenseits der Axe in r zwischen dem Brennpunkte o und dem Krümmungsmittelpunkte c; denn der durch c von s ausgehende Strahl sx wird in sich selbst und der mit der Axe parallele sa nach dem Brennpunkte o in der Richtung aor zurückgeworfen. Von dem Gegenstande sn erscheint also ein verkleinertes und umgekehrtes Luftbild re.



(Fig. 289.)

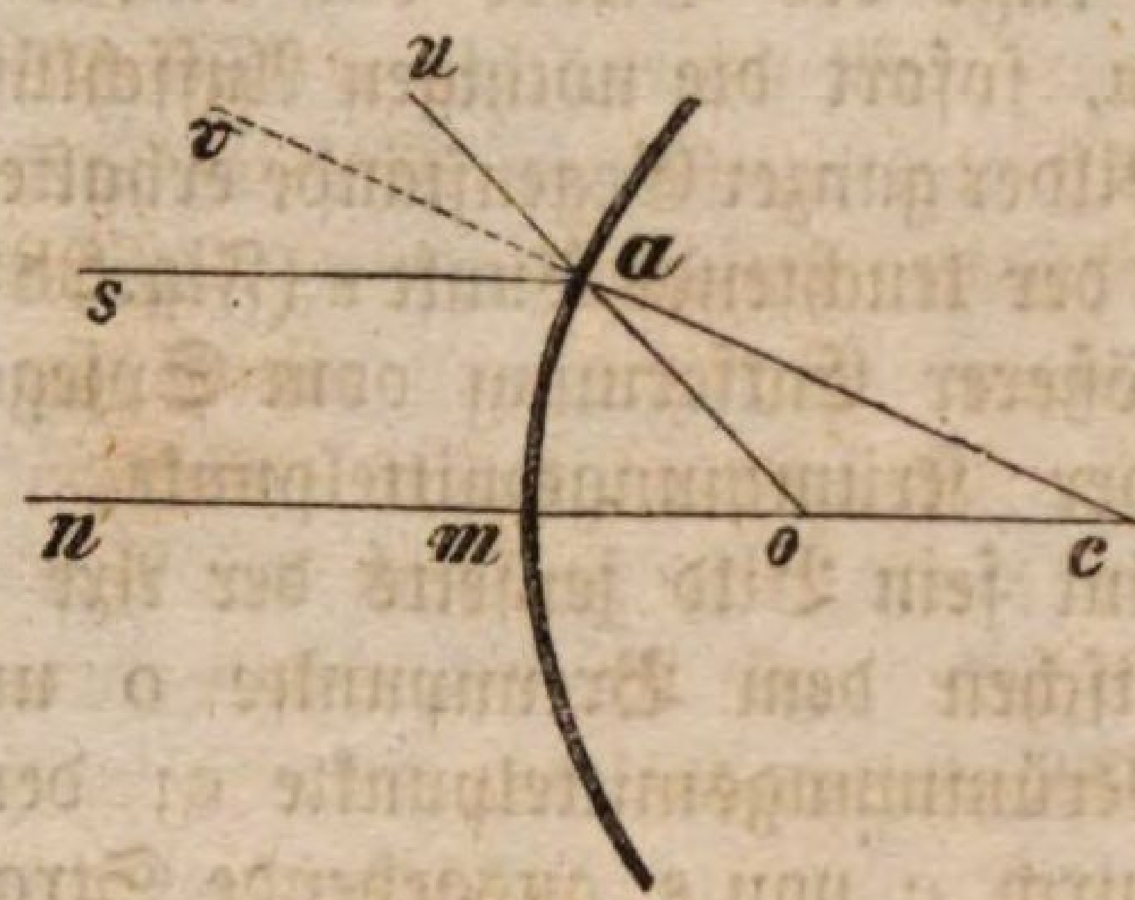
Ist umgekehrt der Gegenstand sn (Fig. 289) zwischen c und o, so erscheint sein verkehrtes und vergrößertes Bild re jenseits des Mittelpunktes des Spiegels. Wenn sich der Gegenstand innerhalb dieser Gränze dem Krümmungsmittelpunkte nähert, so nähert sich ihm auch das Bild und wird kleiner; nähert sich aber der Gegenstand dem Brennpunkte, so entfernt sich das Bild und wird größer, bis es endlich verschwindet, wenn der Gegenstand im Brennpunkte selbst ist, weil dann die zurückgeworfenen Strahlen parallel sind.



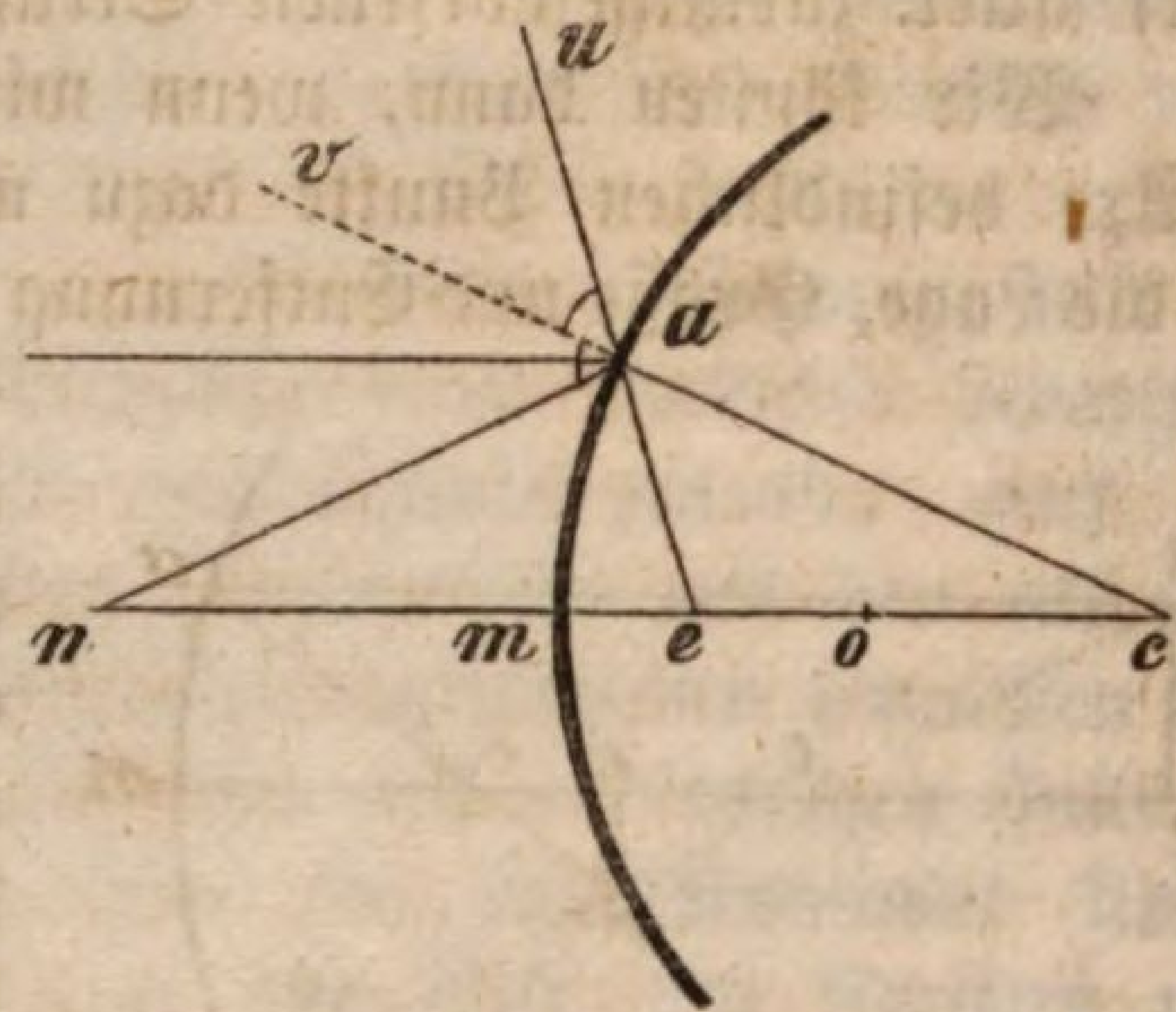
(Fig. 290.)

Ist der Gegenstand sn (Fig. 290) zwischen dem Brennpunkte o und dem Spiegel, so entsteht hinter dem Spiegel ein mathematisches grades und größeres Bild re, welches mit der Annäherung des Gegenstandes an den Spiegel sich ihm auch nähert und dabei kleiner wird, bis beide einander gleich sein würden, wenn der Gegenstand dem Spiegel bis zur Berührung sich nähern könnte.

Bei **erhabenen Kugelspiegeln** kann zwar eine vollständige Kugel vorhanden sein, aber man kann einen Gegenstand höchstens nur einer der beiden Hälften zur Spiegelung darbieten. Die Bilder sind stets hinter dem Spiegel, also mathematische und kleiner, als der Gegenstand.

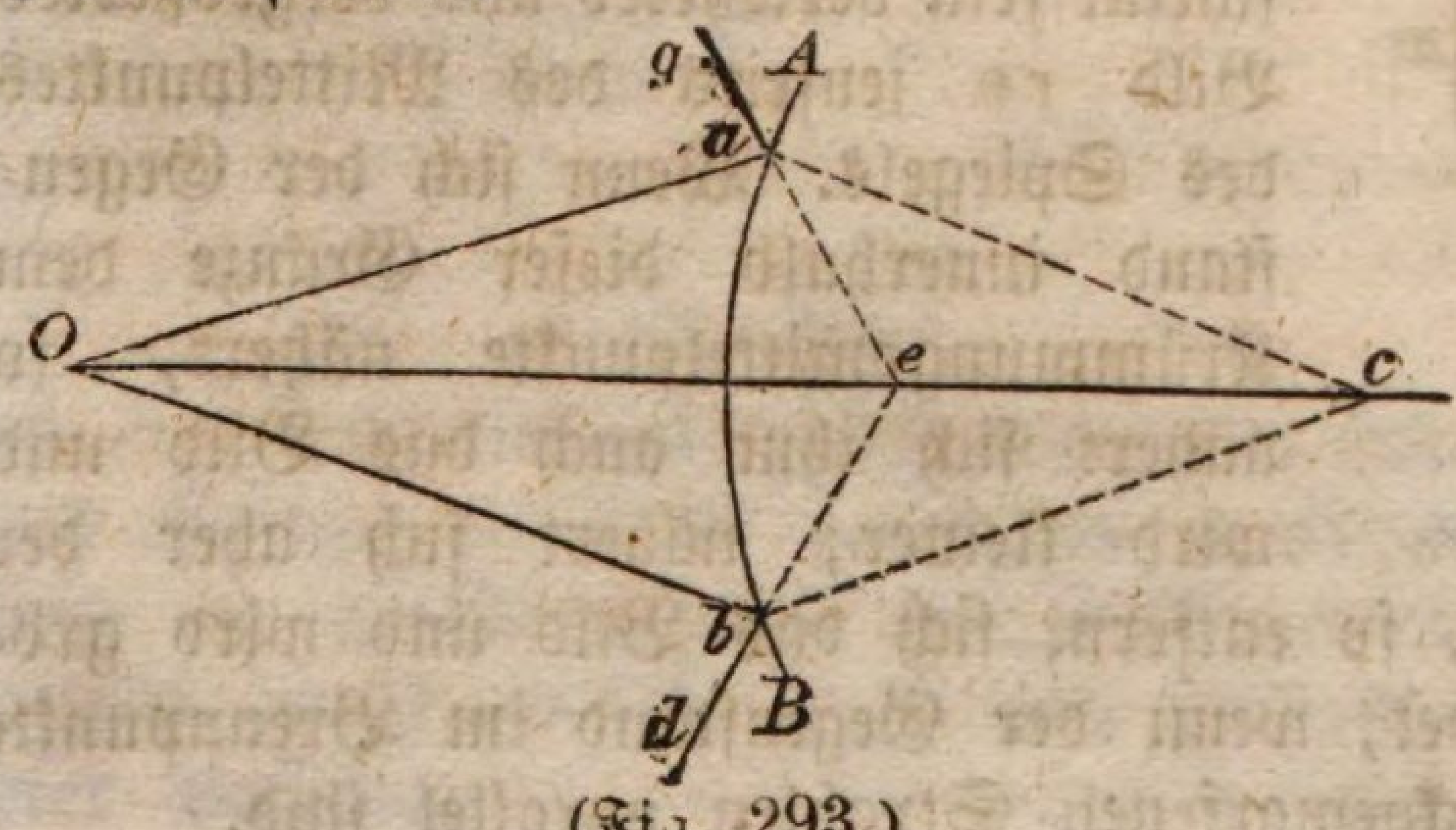


(Fig. 291.)



(Fig. 292.)

Jeder auf den Spiegel in der Richtung eines von der Spiegelfläche an verlängerten Kugelradius auffallende Lichtstrahl wie nm (Fig. 291) wird in seiner eigenen Richtung zurückgeworfen; jeder mit der Axe nc parallele Strahl, wie etwa sa, so in der Richtung au (wobei av als Verlängerung des Strahles ca das Einfallsloth ist), daß die von a rückwärts gehende Verlängerung die Axe in dem Halbirungspunkte o des Kugelradius trifft. o heißt der **negative Brennpunkt**.

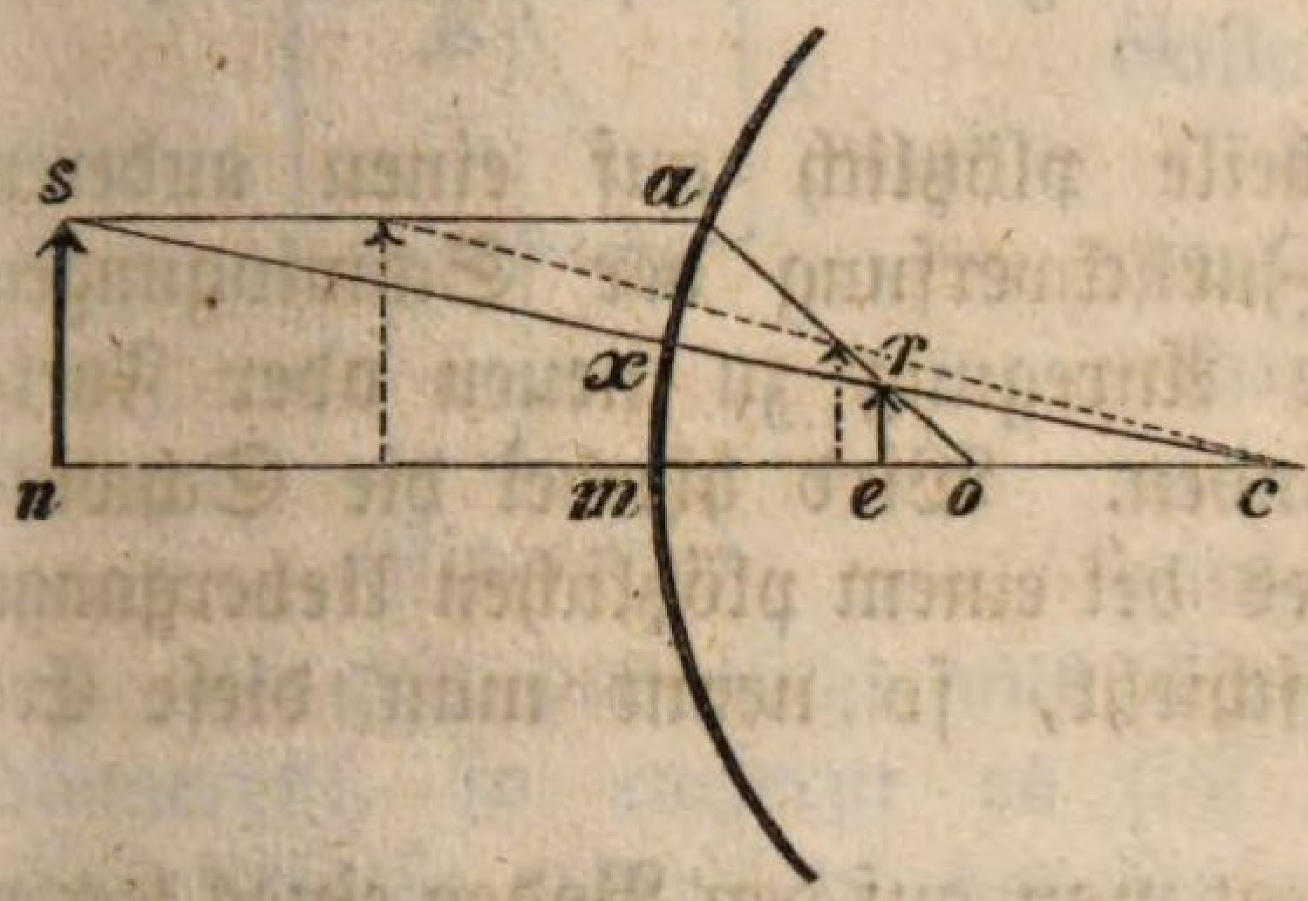


(Fig. 293.)

Gehen von einem Punkte n der Axe (Fig 292) divergirende Strahlen, so bildet jeder, wie z. B. na, mit dem Einfallslothe av einen größeren Einfallswinkel van, als der mit der Axe parallele Strahl; der zurückgeworfene Strahl au wird also bei

seiner Rückwärtsverlängerung die Axe in einem dem Spiegel näheren Punkte e treffen.

Läßt man von o aus (Fig. 293) zwei Strahlen oa und ob gehen und sind ag und bd ihre zurückgeworfenen Strahlen, so geben deren Verlängerungen rückwärts in ihrem Treffungspunkte e das Bild von o, welches dem Spiegel näher liegt, als der negative Brennpunkt.



(Fig. 294.)

Gehen die Strahlen von einem außerhalb der Axe liegenden Punkte s (Fig. 294) divergirend aus, so geht der nach dem Krümmungsmittelpunkte c gerichtete sx in sich selbst zurück, der mit der Axe parallele sa bei seiner Verlängerung rückwärts durch den Brennpunkt o, also entsteht in dem auf derselben Seite der Axe liegenden Durchschnittspunkte r beider Linien das Bild von s.

Ist nun vor dem Kugelspiegel ein ganzer Gegenstand sn, so entsteht von ihm ein aufrechtes und verkleinertes Bild re jenseits des Spiegels zwischen dem Brennpunkte o und dem Spiegel. — Je näher der Gegenstand dem Spiegel kommt, je mehr also die von einem gewissen Punkte desselben auf zwei gewisse Punkte des Spiegels fallenden Strahlen divergirend auffallen, desto mehr divergiren sie nach der Zurückwerfung und desto näher tritt auch das Bild auf der Rückseite dem Spiegel; aber mit der Annäherung des Gegenstandes an den Spiegel vergrößert sich sein Bild, wie es die punktirte Zeichnung andeutet und würde die Größe des Gegenstandes erreichen, wenn es möglich wäre, denselben mit dem Spiegel zur Berührung zu bringen.

Vollständige Kugelspiegel gewähren in hübschen Gegenden, Parkanlagen und anderwärts durch ihre theils todten, theils lebenden Bilder einen angenehmen Anblick. Man nimmt dazu hohle Glaskugeln, deren innere Fläche mit einem schwarzen oder metallisch glänzenden Stoffe überzogen wird.

Ein erhabener Zylinderspiegel verlängert einen Gegenstand in der Richtung seiner Längenaxe und ein Kegelspiegel nach seiner Spitze. Wenn man die durch solche Spiegel erhaltenen Verzerrungen eines Gegenstandes auf eine Ebene rings um den als Basis des Spiegels dienenden Kreis zeichnet und dann den Spiegel auf diesen Kreis setzt; so erscheint das Spiegelbild des Zerrbildes in seiner richtigen Gestalt. Diese, eine angenehme Unterhaltung gewährenden Darstellungen nennt man katoptrische Anamorphosen.

Dritter Abschnitt.

Brechung von Schwingungen.

In jeder nach Dauer und Weite bestimmten Schwingung eines bestimmten Theiles eines gewissen Stoffes liegt eine bestimmte Schwingungskraft.

Treffen nun schwingende Stofftheile plötzlich auf einen anderen Stoff, so kann statt oder neben der Zurückwerfung der Schwingungen eine Uebertragung der Kraft und eine Anregung zu neuen oder Fortsetzung der alten Schwingungen stattfinden. Wird hierbei die Schwingungsrichtung plötzlich verändert, wie es bei einem plötzlichen Uebergange aus einem Stoffe in einen anderen geschieht, so nennt man diese Erscheinung eine Brechung.

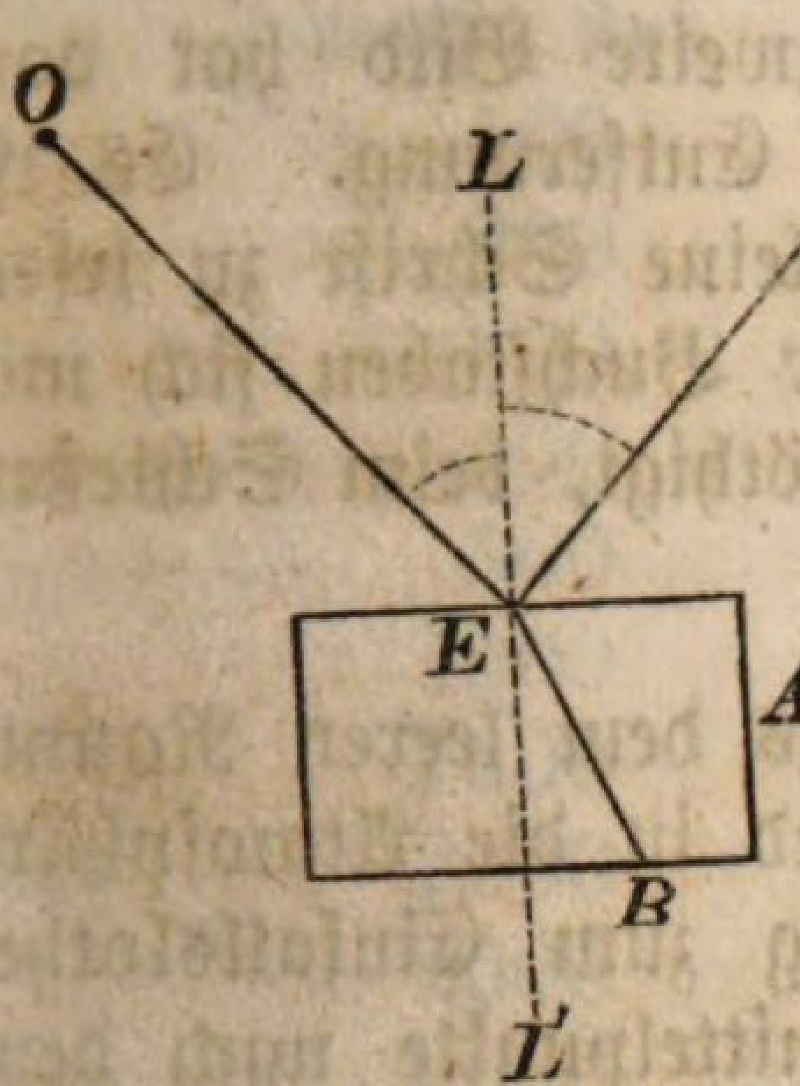


(Fig. 295).

Legt man auf den Boden eines leeren undurchsichtigen Gefäßes (Fig. 295) ein kleines Geldstück a, hält das Auge o seitwärts oberhalb so, daß der Rand das Geldstück soeben bedeckt und gießt dann in das Gefäß Wasser, so wird a sichtbar, ohne daß man das Gefäß hinab oder das Auge herauf bewegt hat; es ist, als wenn das Geldstück gehoben worden wäre, denn wir sehen einen Gegenstand stets in der Richtung, in welcher die von ihm ausgehenden Strahlen unmittelbar unser Auge treffen. Wenn die von a im Wasser fortgehenden Strahlen bis ans Niveau den unten gezeichneten Gang nehmen, so müssen sie von da an sich vom Wasser an in der Luft darüber tiefer richten, um o zu treffen. Die Strahlen entfernen sich also, wenn sie aus dem Wasser in die Luft übergehen, von dem durch den Uebergangspunkt gezogen angenommenen Lothe.

Hält man einen graden Stab schräge zum Theil in Wasser und sieht ihn von der Seite an, so erscheint er von der Wassergränze an gebrochen, indem der im Wasser befindliche Theil höher zu liegen scheint, dabei aber noch grade ist. Je tiefer also ein Punkt des Stabes liegt, um so mehr erscheint er gehoben.

Läßt man durch eine kleine Oeffnung O (Fig. 297) eines Fensterladens ein dünnes Bündel von Sonnenstrahlen auf die Oberfläche eines Glasgefäßes A mit Wasser im Punkte E schräge auffallen, so gehen diese Strahlen im Wasser nicht in derselben Richtung wie in der Luft fort, sondern sie *nähern* sich dem durch den Uebergangspunkt E auf der Wasserfläche gezogenen Lothe EL′ und gehen etwa in der Richtung EB im Wasser fort. In diesem Falle ist der Winkel, welchen der ankommende Strahl OE mit dem Einfallslothe LE bildet, d. i. der



(Fig. 296.)

Einfallswinkel, größer, als der, welchen der gebrochene Strahl EB mit dem verlängerten Lothe, also mit EL', bildet und welcher der Brechungswinkel heißt. Bei staubiger Luft und trübem Wasser kann man den Gang der Strahlen leicht erkennen.

Es liegen also hier zwei verschiedenartige Fälle vor:

1) geht das Licht aus Luft in Wasser (aus einem Mittel in ein dichteres), so nähert es sich dem Einfallslothe oder wird zum Einfallslothe gebrochen (der Einfallswinkel ist größer, als der Brechungswinkel);

2) geht das Licht aus Wasser in Luft (aus einem Mittel in ein dünneres), so entfernt es sich vom Einfallslothe oder es wird vom Einfallslothe gebrochen (der Einfallswinkel ist kleiner, als der Brechungswinkel).

Diese beiden Gesetze gelten nicht blos für die beiden genannten, sondern für alle Stoffe und der Grad der Brechung ist für dieselben Stoffe, wenn sie auch übrigens unverändert bleiben, stets derselbe, für verschiedene aber verschieden.

Denkt man sich von E aus auf dem einfallenden Strahle EO und auf dem gebrochenen EB gleiche Stücke genommen und von ihren Endpunkten auf das Einfallsloth LL' die beiden Perpendikel gefällt, so geben sie für die zwei bestimmten Stoffe, aus welchem und in welchen der Strahl tritt, das Brechungsverhältniß dieser Stoffe an: es ist für das Licht aus Luft in Wasser 4 : 3, aus Wasser in Luft 3 : 4, aus Luft in Glas 3 : 2. Den Quotienten aus dem Verhältnisse der die Brechung angebenden Zahlen nennt man den Brechungsquotienten; er ist für den:

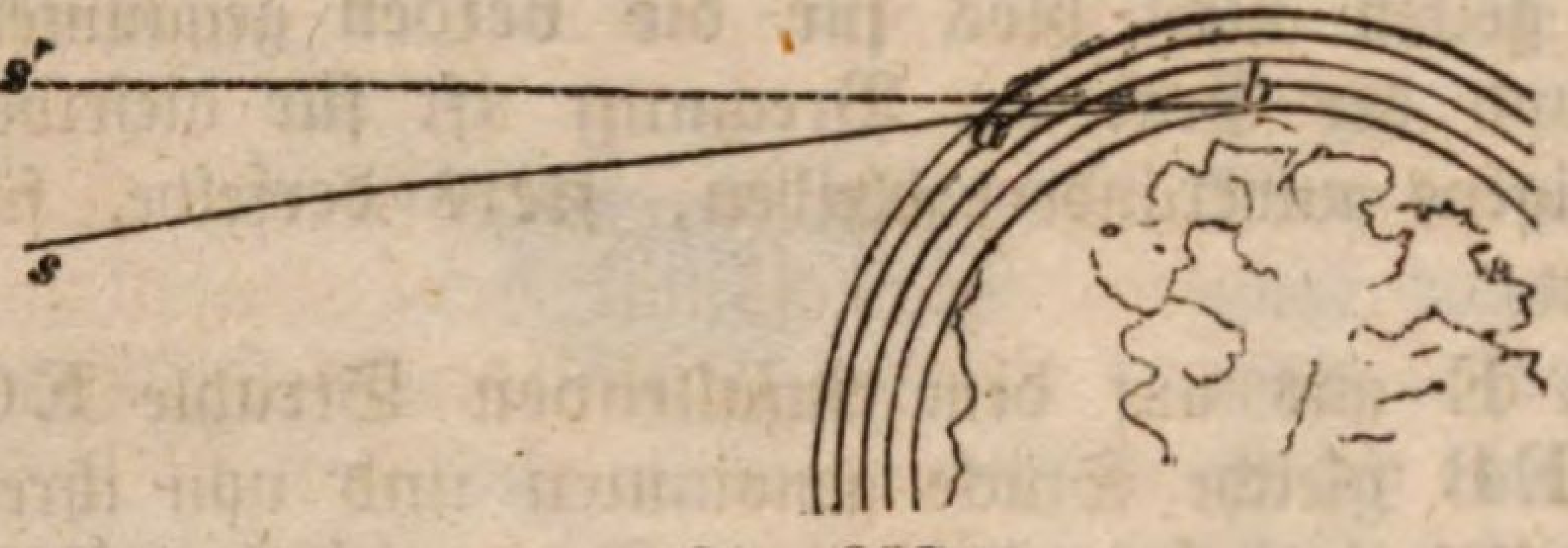
Leeren Raum	1,000000	Kalkspath gew. Br.	1,654
Wasserstoff	1,000138	Kalkspath ungew. Br.	1,483
Sauerstoff	1,000272	Kronglas	1,503
Eis	1,308	Bergkrystall	1,547
Wasser	1,336	Flintglas v. Frauenhofer	1,642
Alkohol	1,375	Diamant	2,500

Der Diamant hat unter allen Körpern die stärkste Kraft das Licht zu brechen und der Kalkspath, wie noch einige andere Krystalle, haben das Vermögen, das Licht doppelt zu brechen, so daß man durch einen solchen Krystall von der Form eines verschobenen Würfels von einem Punkte auf Papier zwei Bilder sieht.

Bei dieser Gelegenheit will ich eine nicht häufig beobachtete Erscheinung anführen, nämlich die, daß mein rechtes Auge, ohne irgend eine Verschiedenheit von dem anderen äußerlich zu zeigen, ebenfalls dop-

peltbrechend ist, denn ich sehe einen kleinen Punkt in der Entfernung von etwa 9 Zollen doppelt: das etwas mattere zweite Bild hat von dem Hauptbilde in diesem Abstande gegen 1 Linie Entfernung. Es ist also klar, daß ich mit diesem Auge allein eine kleine Schrift zu lesen nicht im Stande bin, weil die zweiten Bilder der Buchstaben sich mit den Hauptbildern verlaufen; ich bin also auch genöthigt, beim Schießen das linke Auge anzuwenden.

Die Refraktion. Auch wenn das Licht aus dem leeren Raume kommt, d. h. durch den Weltäther gegangen ist und in die Atmosphäre der Erde gekommen ist, erleidet es eine Brechung zum Einfallslothe, d. h. zu der graden Verbindungslinie vom Erdmittelpunkte nach dem Punkte, in welchem der Lichtstrahl die Atmosphäre trifft. Da aber die Dichtigkeit derselben nicht eine gleichmäßige ist, sondern nach der Erdoberfläche hin wächst, so ist die Lichtbahn in der Atmosphäre auch nicht eine grade; sondern bei ihrem tieferen Eindringen eine mehr und mehr nach der Erde hin gekrümmte, wie es Fig. 297 andeutet, wo sa der auffallende Strahl und ab sein Weg in der schichtenförmig gezeichneten Atmosphäre sein soll. Da die Dichtigkeit der Schichten nicht schroff wechselt, sondern unmerklich übergeht, so ist ab nicht gebrochen, sondern gekrümmt.



(Fig. 297.)

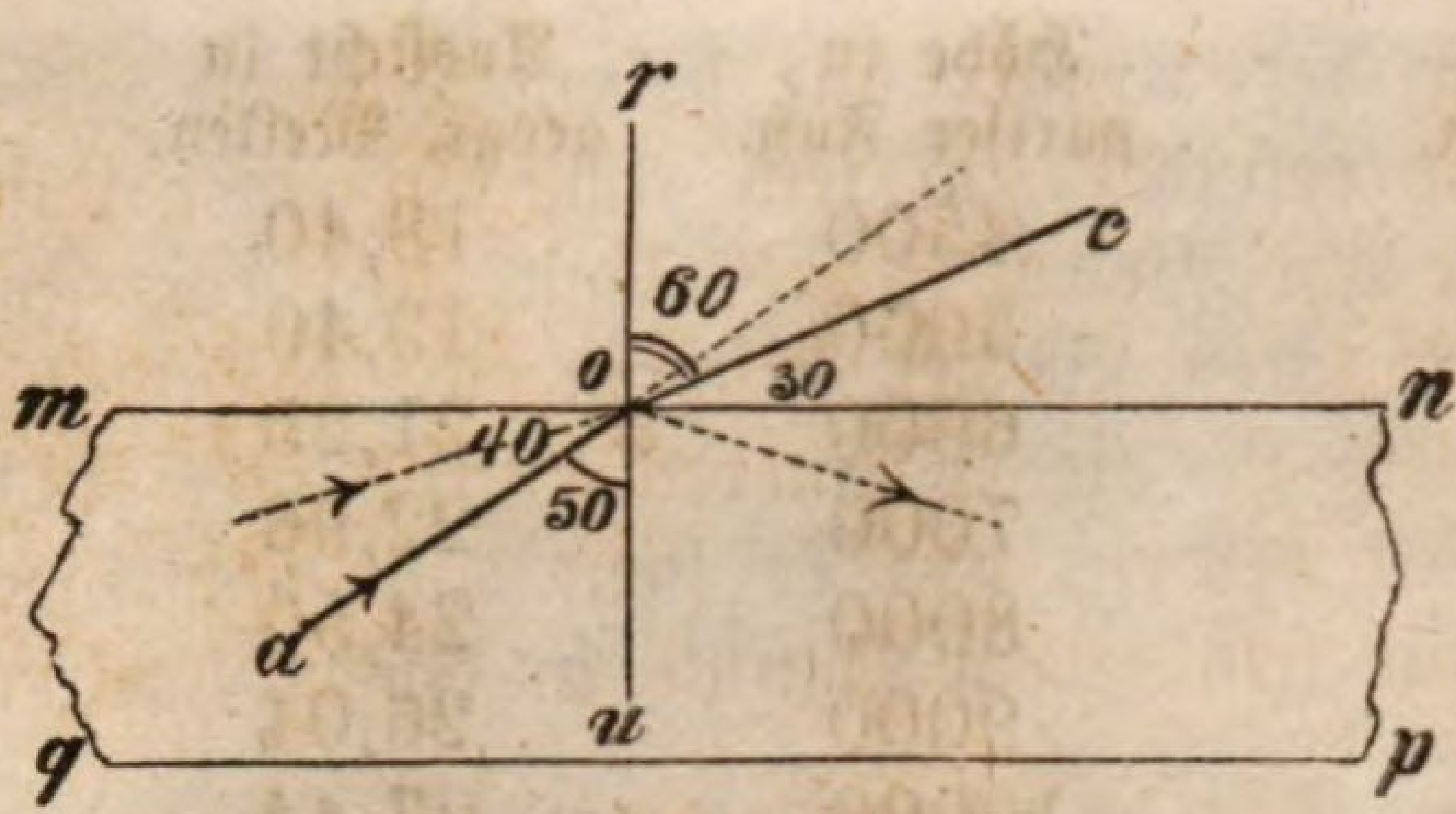
Ist in b das Auge eines Beobachters, so sieht es den von s, z. B. der Sonne, ausgehenden Strahl nicht in s, sondern in der Richtung bs', also höher. Diese Erhebung eines Gestirnes über den Horizont des Beobachtungsortes beträgt am Horizonte so ziemlich den Sonnendurchmesser, so daß sie bei ihrem Aufgange soeben mit ihrem unteren Rande den Horizont zu verlassen scheint, während sie in Wirklichkeit mit ihrem oberen denselben erst berührt. Dasselbe gilt vom Monde. Je weiter sich ein Gestirn erhebt, desto weniger weit ist der Weg seiner Strahlen durch die Atmosphäre, desto weniger wird es durch diese sogen. Refraktion von seinem wahren Orte abgelenkt und nur im Scheitelpunkte oder Zenithe sehen wir es ohne Ablenkung. Der Wechsel in der Dichtigkeit der Atmosphäre bringt auch eine Veränderung in der Strahlenbrechung hervor, was für genaue astronomische Beobachtungen wichtig ist.

Fernsicht. Wenn auf die durch die Atmosphäre bewirkte Ablenkung der Lichtstrahlen von ihrer gradlinigen Bahn keine Rücksicht genommen wird, so gibt die folgende Tabelle an, wie weit man von einem erhöhten Standpunkte aus rings um sich sehen kann oder wie lang die bis an den Horizont gezogenen Berührungslinien sind.

Höhe in pariser Fuß.	Aussicht in geogr. Meilen.	Höhe in pariser Fuß.	Aussicht in geogr. Meilen.
100	2,75	4500	18,40
200	3,88	5000	19,40
300	4,75	6000	21,25
400	5,50	7000	22,96
500	6,17	8000	24,50
1000	8,66	9000	26,04
1500	10,62	10000	27,44
2000	12,30	12000	30,06
2500	13,72	14000	32,50
3000	15,04	16000	34,70
3500	16,25	18000	36;80
4000	17,36	20000	38,80

Für dazwischen liegende Höhen läßt sich die Fernsicht durch Einschaltung leicht berechnen. Sie ist wegen der Refraktion stets noch etwas zu vergrößern. Diese Betrachtung ist bei der Anlage von Leuchtthürmen wichtig, um ihnen die für den betreffenden Ort angemessene Höhe zu geben.

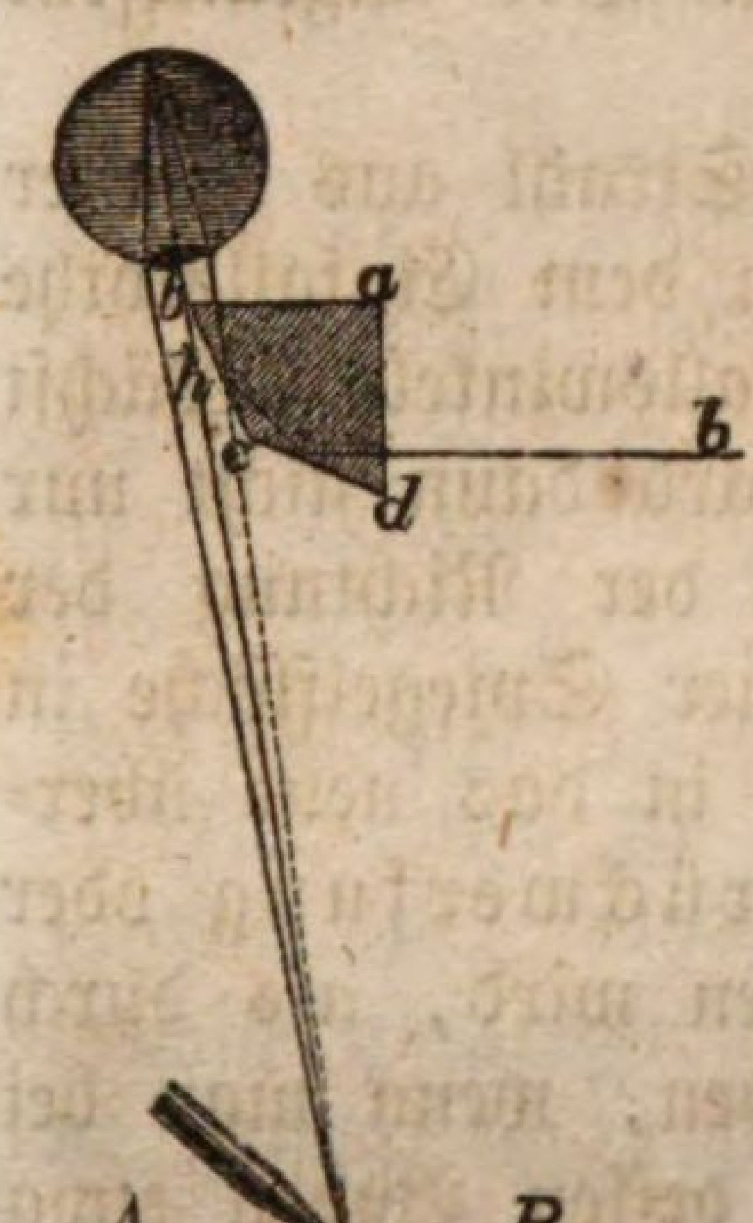
Die gänzliche Zurückwerfung. Geht ein Strahl aus Wasser oder Glas in die Luft über, so entfernt er sich von dem Einfallslothe oder der Brechungswinkel ist größer, als der Einfallswinkel. Wächst nun der letztere, so wächst auch der erstere und es wird dann nicht nur der Fall eintreten, daß der gebrochene Strahl in der Richtung der Trennungsfläche geht, sondern daß er wie von einer Spiegelfläche in das erste Mittel gänzlich zurückgeworfen wird, ohne in das neue überzugehen. Diese Erscheinung heißt die gänzliche Zurückwerfung oder totale Reflexion, weil dabei mehr Licht zurückgeworfen wird, als durch die besten Spiegel. Sie kann leicht beobachtet werden, wenn man bei einem ziemlich weiten Glase mit etwas Wasser, an dessen Boden etwa eine Münze liegt, das Auge hinreichend tief unter den Wasserspiegel hält. — Taucht man ein Reagentiengläschen in ein Trinkglas mit Wasser, so erscheint es, von oben betrachtet, wie Silber. Dieser Schein verschwindet, wenn man Wasser hineingießt. — Die Brechung verwandelt sich also dann in gänzliche Zurückwerfung, wenn der Einfallswinkel so groß wird, daß der Brechungswinkel größer, als 90 Grad werden müßte und dann sieht man im ersten Beispiele die Münze durch die innere Spiegelung des Niveaus sehr deutlich. Fig. 298 soll diese Umstände verdeutlichen. mnpq enthalte einen dichteren Stoff, als er über der Gränzfläche mn ist, und von a aus gehe in jenem ein Lichtstrahl nach o. Hier geht er nicht in derselben Richtung fort, sondern er entfernt sich von dem Einfallslothe or, so daß der Brechungswinkel roc größer, als der Einfallswinkel aou ist; jener z. B. 60°, dieser 50°, also fehlen jenem zu einem rechten Winkel 30°, diesem 40°. Wenn nun



(Fig. 298.)

der Strahl ao von dem Lothe ou sich um 30° nach mo hin entfernte, so würde der gebrochene Strahl co sich der Trennungsfläche um ebensoviele Grade nähern, also derselbe grade in die Trennungsebene fallen. Bewegte sich dann ao noch um 5°, also im ganzen um 35°, so würde co schon 5° diesseits der Trennungsfläche liegen, also ebensoweit von ihr, als ao, und ao erscheint von ihr unter demselben Winkel zurückgeworfen, unter welchem es auffällt.

Die helle Kammer. Wollaston hat dieser Erscheinung eine praktisch wichtige Anwendung in der sogen. hellen Kammer (Camera lucida) gegeben.



(Fig. 299.)

In Fig. 299 ist abcd der lothrechte Querschnitt eines Glasprismas, der Winkel a ist ein rechter, c ein stumpfer von 135°, b und d jeder 67½°. Kommt auf die lothrecht gedachte Fläche ad von außen ein horizontaler Strahl, so geht er ungebrochen in das Glas und in ihm in unveränderter Richtung bis auf die Ebene cd, die er unter einem Winkel von 22½° trifft; von hier wird er unter demselben Winkel nach der Ebene bc im Innern des Glases zurückgeworfen und trifft auch sie unter 22½°, so daß eine zweite gänzliche Zurückwerfung nach ab unter einem rechten Winkel erfolgt. Hier also erst muß der Strahl in die Luft übergehen und kann von einem darüber befindlichen Auge aufgefangen werden, welches den Lichteindruck lothrecht auf eine darunter befindliche horizontale Ebene AB versetzt.

Wenn nun der aus der Ebene ab des Prismas kommende Strahl dicht bei der Kante b austritt und man hält das Auge mit seiner Pupille, durch welche die Lichtstrahlen in das Innere des Auges dringen, auch dicht an diese Kante, so kann man nicht nur das auf der Ebene erscheinende Bild des seitlichen Gegenstandes, sondern auch ein dort befindliches Papier gleichzeitig sehen und nun jenes auf dieses unmittelbar aufzeichnen. Man hat eine ähnliche Vorrichtung auch mit einem Mikroskope in Verbindung gebracht, um recht kleine Gegenstände vergrößert abzeichnen zu können.

Luftspiegelung. Wenn der Araber auf hohem Kameele über den brennenden Sand reitet, so befindet sich sein Auge in einer Luftschicht, welche kälter ist, als die am Boden. Es kann also der Fall eintreten, daß die von einem entfernten, in der kälteren Luft befindlichen Gegenstande kommenden Strahlen in die wärmeren Luftschichten nicht eindringen, sondern zurückgeworfen werden, und er sieht dann von ihnen ein verkehrtes Bild unterhalb, wie von einem Baume in einem horizontalen Wasserspiegel.

Unmittelbar über dem Meeresspiegel ist in warmen Gegenden die Luft öfters kälter, als in größeren Höhen. Es kann also der Fall eintreten, daß von den in jenen kälteren Schichten befindlichen Gegenständen, z. B. den Schiffen, nach den wärmeren Schichten gehenden Strahlen von hier zurückgeworfen werden und ein verkehrtes Bild in der Höhe geben, wie von einem horizontalen Spiegel darüber, wobei das Auge des Beobachters in der kalten Luftschicht sich befindet. Diese Bilder zeigen natürlich das ganze Leben und Treiben auf den Schiffen und der etwa dargestellten Landschaft, aber wegen der nicht seltenen Schwankungen der Luft in einem bunten chaotischen Durcheinander. Man hat diese feenhafte Luftspiegelung deshalb auch fata morgana genannt.

Der Grund für die Brechungserscheinungen liegt in der verschiedenen Dichtigkeit des Weltäthers in verschiedenen Stoffen, wodurch eine Veränderung in der Breite und der Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Wellen durch den neuen Stoff hervorgebracht wird. Wenn die Wellenbewegung in den neuen Stoff so eindringt, daß der Strahl der eindringenden Welle dem Einfallslothe sich nähert; so ist die Geschwindigkeit der Fortpflanzung in dem neuen Stoffe in dem Verhältnisse des Brechungsquotienten kleiner: entfernt sich aber der Wellenstrahl vom Einfallslothe, so ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in diesem Verhältnisse größer; in jenem Falle wird die Wellendimension kleiner, in diesem größer; in jenem die Fortpflanzungszeit jeder Welle größer, in diesem kleiner. Der Brechungsquotient des Lichtes aus dem Wasser in den leeren Raum ist $^{1000}/_{1336}$; daher die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser 1000, wenn die im leeren Raume 1336 ist. Ist der Brechungsquotient bei Luft und Wasser $^3/_4$, und wird die Geschwindigkeit des Lichtes in jener zu 42000 Meilen angenommen, so ist sie in diesem $^3/_4 \cdot 42000 = 31500$ Meilen. Die Wellen sind im Wasser kürzer als in der Luft.

Vierter Abschnitt.

Durchgang von Wellenbewegungen.

Jedermann ist bekannt, daß man selbst durch eine dicke Wand hören und durch eine Glasplatte sehen kann; weniger bekannt ist es, daß die Wärmestrahlen durch eine Platte aus Steinsalz ebenso dringen, wie die Lichtstrahlen durch die Glasplatte. Die Körper sind also mehr oder minder geeignet, Schall-, Licht- oder Wärmeschwingungen durch sich zu lassen, damit sie jenseits weiter verbreitet werden; d. h. sie sind durchhörig, durchsichtig, durchwärmig (diatherman).

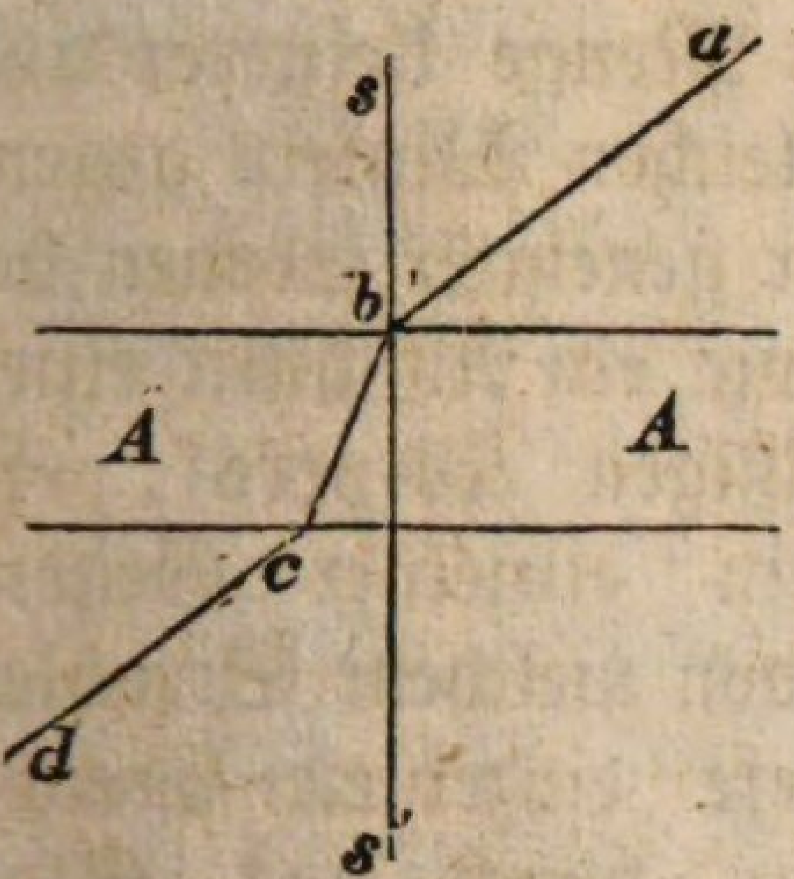
Die verschiedenen Körper sind aber in einem sehr verschiedenen Grade für die Fortsetzung der Schwingungen geeignet. Im Allgemeinen kann man sagen, daß ein bestimmter Stoff um so geeigneter ist, je gleichmäßiger seine Oberfläche und sein inneres Gefüge ist und je weniger er von fremdartigen Stoffen unterbrochen wird. Von je besser gebrannten Steinen eine Mauer aufgeführt und je dichter sie gemauert ist, desto besser läßt sie den Schall und die Wärme durch. Reines Eis in ganzen Platten ist durchsichtig; ist es aber zu ganz kleinen Stücken zerstampft, so daß Eis und Luft häufig abwechseln, so ist es undurchsichtig; neblige Luft ist weniger durchsichtig, als wasserfreie und deshalb erscheint auch die Sonne beim Auf- und Untergange trübe; an der Oberfläche rauh oder mattgeschliffenes Glas ist nur durchscheinend, es wird aber, wie auch das Papier, durch das Einölen durchsichtiger. Juweliere erkennen das Innere von rauhen Edelsteinen, wenn sie dieselben in ein Oel (Sassafrasöl) legen, welches mit ihnen dieselbe Lichtbrechung besitzt.

Je durchsichtiger ein Körper ist, desto weniger verbergen sie andere Körper hinter sich und desto weniger sind sie selbst sichtbar; aber auch Luft, Glas, Wasser u. a. werden in dickeren Schichten nur durchscheinend und selbst undurchsichtig: den Boden eines tiefen, selbst ganz klaren und ruhigen Wassers erkennt man nicht mehr; bei 70 bis 80 selbst ganz klaren Glasscheiben und einer 700 Fuß langen Wassersäule im Meere verschwindet das Sonnenlicht, so daß man auch im Wasser den Grund tiefer selbst ganz klarer Gewässer nicht mehr erkennen kann.

Wir können im Allgemeinen sagen, daß Schwingungen als solche um so mehr vernichtet werden, je öfterer sie gezwungen sind, ihre ursprüngliche und jede neue Richtung zu verlassen und daß dann natürlich auch der von ihnen ursprünglich bewirkte sinnliche Eindruck verloren geht. Eiweiß läßt die Lichtschwingungen ziemlich gut durch, ist es zu Schaum geschlagen, d. h. möglichst mit Luft vermischt, so hemmt es dieselben.

In einem hohen Grade wichtig aber sind die Erscheinungen, welche sich ergeben, wenn die Schwingungen durch Körper von bestimmter Form und mit bestimmten Begränzungsflächen gegangen sind. Wir wollen vier wichtige Fälle einer näheren Betrachtung unterwerfen.

1) Der die Wellen durchlassende Körper hat parallele Begränzungsebenen, wie die Spiegel- und Fensterscheiben.



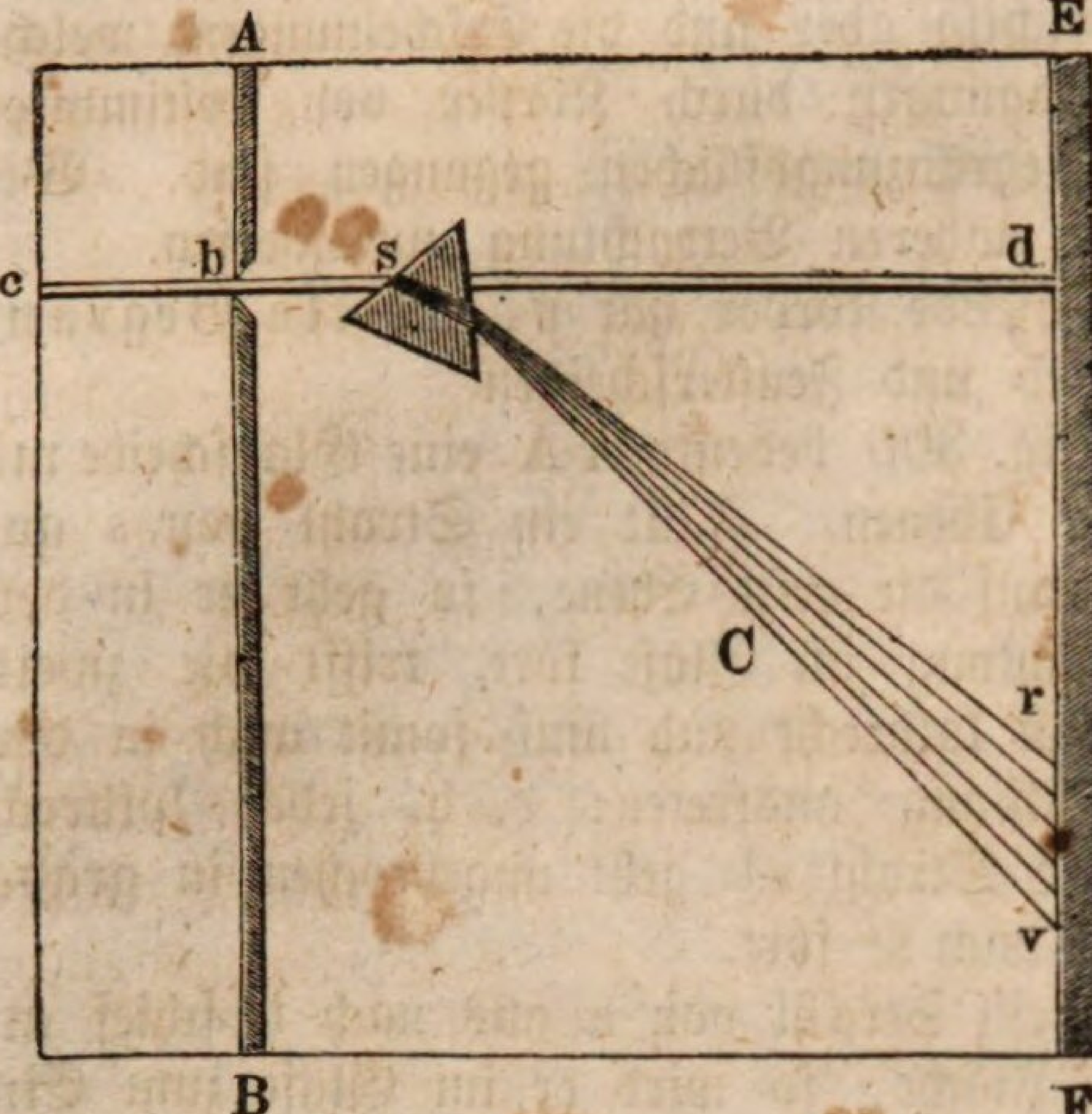
(Fig. 300.)

In Fig. 300 bedeute A A eine Glasscheibe mit parallelen Ebenen. Fällt ein Strahl von s aus lothrecht auf die erste Ebene, so geht er in derselben Richtung im Glase fort, trifft die zweite Ebene auch lothrecht und muß somit auch in derselben Richtung austreten: d. h. jeder lothrecht auffallende Strahl sb geht ungebrochen in grader Richtung nach s' fort.

Fällt ein Strahl von a aus nach b schief auf die erste Fläche, so wird er im Glase zum Einfallslothe, etwa in der Richtung bc, gebrochen; aber bei seinem Austritte in die Luft unter demselben Winkel vom Einfallslothe und muß daher bei seinem Fortgange in der Luft jenseits parallel sein dem diesseits auffallenden Strahle; d. h. sind die Brechungsflächen eines Körpers, durch welchen Wellen gehen, parallel; so behalten die Wellenstrahlen ihre Richtung, werden aber bei schiefer Lage um so mehr seitwärts geschoben, je dicker der Körper ist. Letzteres nehmen wir u. a. an Fensterscheiben bei schiefer Ansicht eines jenseits befindlichen Gegenstandes wahr, welcher übrigens seine Form und Größe nicht verändert zeigt.

2) Die durchlassenden Ebenen bilden einen Winkel, wie es der Fall ist bei zwei benachbarten Seitenflächen eines Prismas. Wir wollen uns ein dreiseitiges Prisma denken, d. h. einen solchen Körper, welcher von drei Parallelogrammen und drei vollkommen übereinstimmenden Dreiseiten begränzt ist.

In Fig. 301 stellt AEFB ein finsteres Zimmer dar, b ist eine kleine kreisrunde Oeffnung in dem Laden AB, durch sie wird ein Sonnenstrahlenbüschel gelassen, welches, wenn es von c kommt, in der graden Richtung cbd auf der gegenüberstehenden weißen Wand EF bei d ein kreisrundes Bild zeigt. Hält man aber im Zimmer an die Oeffnung ein reines blasenfreies Glasprisma, von welchem bei S der senkrechte Querschnitt dargestellt ist; so wird für diese Lage des Prismas, wenn nämlich die beiden Durchgangsflächen für das Licht nach oben zusammentreffen und die Längenkanten des Prismas horizontal liegen, das Bild bedeutend nach unten hin verlegt, also weg von der brechenden Kante, außerdem ist es nicht mehr rund, sondern von oben nach unten bedeutend in die Länge gezogen und endlich zeigt es die sieben im Regenbogen vorhandenen Farben in derselben Ordnung, näm-



(Fig. 301.)

lich von oben nach unten: Roth, Orange, Gelb, Grün, Hellblau, Dunkelblau und Violett.

Wenn die eine Seite eines Glases zwar eben ist, die andere aber aus einer beliebigen Menge kleinerer und unter gleichen Winkeln gegeneinander geneigter Ebenen besteht (wie ein Abschnitt eines regelmäßigen Körpers), so wird ein einzelner Gegenstand, von welchem Strahlen auf diese einzelnen Ebenen gelangen, durch das Glas vervielfältigt erscheinen. Dies sind die Polygonalgläser.

Es ist möglich, daß man durch ein Polygonalglas nur einen Gegenstand sieht; es müssen aber die einzelnen Theile desselben auf einem ebenen Blatte rings um das Gesichtsfeld des Glases angemessen vertheilt gezeichnet sein. Dadurch sind aber die Bilder so verzerrt, daß man bei ihrer Ansicht ohne Glas wohl schwer das herausfinden wird, was man durch das vorgehaltene Glas sieht. Dies sind die dioptrischen Anamorphosen, welche eine angenehm überraschende Unterhaltung gewähren, besonders wenn man auf die Mitte des Blattes eine Zeichnung in vollständig richtiger Darstellung ohne Anwendung eines Glases macht, welche einen Kontrast gegen das von dem Glase beim Durchsehen zusammengesetzte Bild gewährt; z. B. eine richtig gezeichnete Maus in die Mitte und eine Katze auf den Umfang vertheilt, ein mit Krücken einherschleichender Krüpel und ein munterer Reiter. Das mittelste richtige Bild verschwindet nämlich, wenn man durch das Glas sieht, bei angemessener Lage der Glasflächen durch die Zurückwerfung der Strahlen und es zeigt sich durch die Brechung mittelst der einzelnen Flächen nur das verzerrt gezeichnete in der richtigen Zusammensetzung.

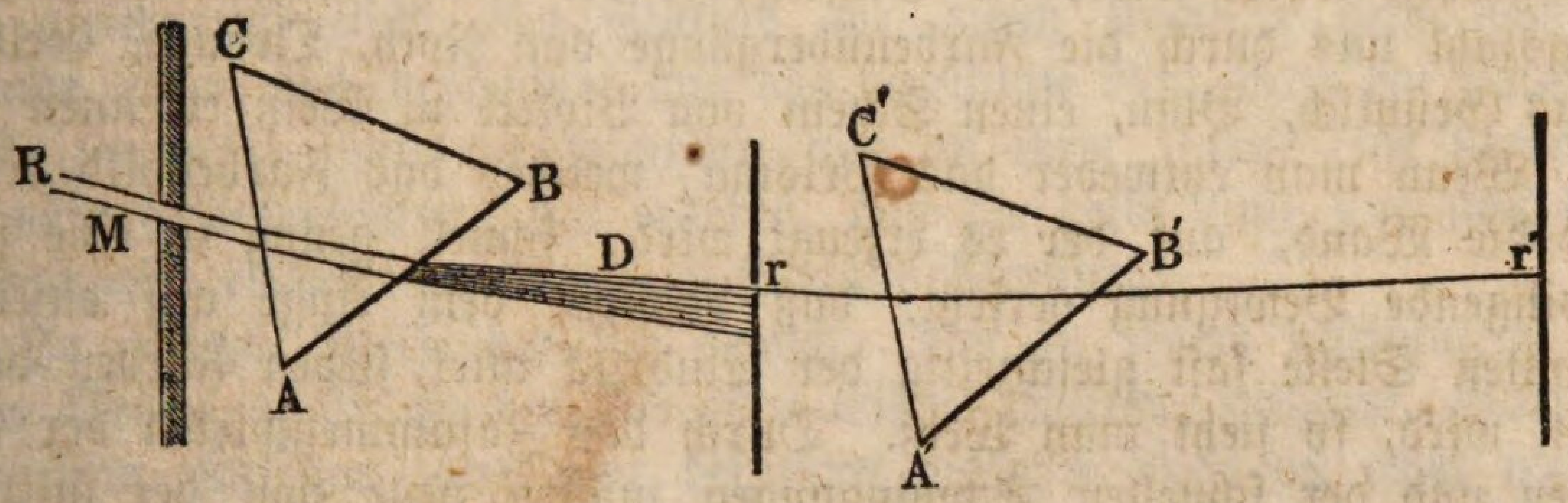
Fängt ein Auge das Farbenbild oder Spektrum des Prismas in seiner vorigen Lage auf, wobei man das Glas dem Auge ganz nahe halten kann, so sieht es den Gegenstand c, welches auch ein weißer Punkt oder Strich auf schwarzem Grunde sein kann, nicht nur bedeutend nach oben gehoben, sondern auch die Farbenpracht so, daß Violett an der oberen, Roth an der unteren Gränze erscheint, weil man ja bekanntlich den Gegenstand in die Richtung versetzt, in welcher das Auge von seinen Strahlen unmittelbar getroffen wird. Die vom Prisma S nach der Wand EF gehenden Strahlen fahren auseinander (divergiren),

müssen also rückwärts verlängert einander schneiden, wodurch die Farben für das Auge eine entgegengesetzte Lage bekommen. — Sieht man bei derselben Stellung des Prismas einen schwarzen Punkt auf weißem Grunde an, so erscheint er unten violett, weil dort die obere Gränze des Weiß, und unten roth, weil hier die untere Gränze des Weiß ist. Die violetten Strahlen haben den weitesten Weg durch das Prisma gemacht, sind also die brechbarsten; denn da sie die größte Schwingungszahl haben, so besitzen sie auch die meiste Kraft.

Läßt man das Farbenbild auf eine Spiegelfläche fallen und neigt man dieselbe gegen jenes mehr und mehr, so wird das Violett auch am ersten zurückgeworfen, also:

je brechbarer die farbigen Lichtstrahlen sind, desto leichter werden dieselben auch zurückgeworfen.

Dieser verschiedene Grad der Brechbarkeit bei verschiedenen Farben zeigt sich recht deutlich, wenn man die Farben des Spektrums einzeln durch ein zweites Prisma gehen läßt.



(Fig. 302.)

In Fig. 302 komme von R durch die Oeffnung M das Strahlenbündel R auf das Prisma ABC, welches jetzt die brechende Kante nach unten gerichtet hat, so daß das farbige Bild nach obenhin gerückt wird. Hat die auffangende Wand bei r, wo das violette Licht ist, eine Oeffnung und fängt man jenseits dieses Licht mit einem zweiten Prisma A'B'C' auf, so wird dadurch das violette Licht von seiner graden Richtung abgelenkt, ohne aber eine neue Farbenerscheinung zu zeigen. Läßt man so nach und nach die anderen Farben bei unveränderter Lage des zweiten Prismas durch, so werden sie durch dasselbe nach dem Roth hin immer weniger gebrochen, jede bleibt aber unverändert, ohne in andere Farben zerlegt zu werden; das Grün z. B. wird nicht etwa in Blau und Gelb zerlegt.

Stellt man das zweite Prisma mit seiner Axe lothrecht gegen die Axe des ersten und fängt man mit ihm das durch das erste gebildete lange Farbenbild auf, so schiebt es das vorige senkrechte Farbenbild nach der Seite, aber das Violett am meisten, Roth am wenigsten.

Wenn man mit dem Finger bei einer Harfe über eine Reihe von Saiten mit verschiedener Spannung (oder auch Länge und Dicke) fährt,

so hört man hintereinander eine Reihe verschiedener Töne, welche durch dieselbe Kraft hervorgelockt worden sind. Der Weltäther wird in dem Glase mit der von der brechenden Kante an beginnenden Dicke desselben sicher auch eine wachsende Spannkraft haben und durch dieselbe Schwingungskraft der weißen Strahlen zu Schwingungen von verschiedener Geschwindigkeit angeregt werden, und zwar nach der Kante hin zu den langsamsten, welche Roth geben, und an der dicksten Stelle zu den schnellsten, welche die Empfindung des Violett erzeugen.

Unser Auge ist für noch langsamere Schwingungen, als die des Roth, und für noch schnellere, als die des Violett, nicht schon und nicht mehr empfindlich; aber es ist eine Thatsache, daß es noch diesseits und jenseits des Spektrums Aetherschwingungen gibt: jene langsameren sind Wärmeschwingungen, diese schnelleren zeichnen sich durch die Energie aus, mit welcher sie chemische Verbindungen und Zersetzungen hervorbringen, welche schon beim Grün beginnen.

Es ist bemerkenswerth, daß Eisen, wenn es allmählich bis zum Weißglühen erhitzt wird, die Stufenfolge der stetig wachsenden Schwingungszahl uns durch die Farbenübergänge von Roth, Orange, Gelblich, etwas Grünlich, Blau, einen Schein von Violett zu Weiß erkennen läßt.

Wenn man entweder das Prisma, welches das Farbenbild erzeugt oder die Wand, auf der es erzeugt wird, schnell genug in eine solche schwingende Bewegung versetzt, daß dadurch dem Auge auf einer bestimmten Stelle fast gleichzeitig der Eindruck aller sieben Farben dargeboten wird, so sieht man Weiß. Durch das Zusammenwirken der langsamen und der schnellen Schwingungen müssen neue von der mittleren Geschwindigkeit aller entstehen, so daß also zu Weiß in runder Zahl 600 Billionen Schwingungen des Weltäthers in 1 Sekunde gehören.

Achromasie. Das Licht wird bei jedem durchsichtigen Körper, dessen Ein- und Austrittsflächen für dasselbe nicht parallel sind, sowohl gebrochen und von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt, als auch in Farben zerstreut; beides aber für verschiedene Stoffe in verschiedenem Grade, so daß die Farbenbilder gleicher Prismen aus verschiedenen Stoffen unter übrigens gleichen Umständen eine verschiedene Länge haben, selbst wenn die Ablenkung des Ganzen gleich ist; oder daß zwar die Farbenbilder eine gleiche oder fast gleiche Länge haben, aber in verschiedenem Grade abgelenkt sind. Macht man nun aus zwei Stoffen, welche das Licht zwar sehr ungleich brechen, aber eine möglichst gleiche Farbenzerstreuung besitzen, zwei Prismen mit ungleichen brechenden Winkeln und legt sie mit zwei Seitenflächen so aneinander, daß die brechenden Winkel gegeneinander liegen; so sind die Ein- und Austrittsflächen einander nicht parallel, also der ganze Körper zum Brechen des Lichtes noch geeignet, aber die beiden farbigen Bilder der einzelnen Prismen geben, da sie bei angemessen gewählten Winkeln für die beiden Prismen in entgegengesetzter Richtung einander decken, ein farbloses

oder achromatisches Bild. Diese Betrachtung wird uns später von großem Nutzen sein.

Die Spektralanalyse. Frauenhofer entdeckte im Sonnenspektrum eine große Anzahl von dunklen Linien, welche auf den langen Seiten desselben lothrecht stehen, verschiedene Dicke besitzen und untereinander eine ganz bestimmte Lage haben. Diese dunklen Linien bezeichnen unstreitig Stellen, in welchen entgegengesetzt gerichtete Aetherschwingungen einander aufheben. Wie aber das scheinbar einfache Sonnenlicht solche Stellen, welche nur durch mindestens zwei gleichzeitig stattfindende Schwingungen hervorgebracht werden können, zu erzeugen im Stande ist, hat man erst in neuester Zeit ermittelt.

Das Licht eines glühenden Platindrahtes hat im Spektrum weder helle noch dunkle Linien, ist also einfach. Das Spektrum einer mit Kochsalz gelb gefärbten Spiritusflamme zeigt ein sehr stark entwickeltes Gelb, während alle übrigen Farben verschwinden und in ihm eine sehr hell gefärbte und blendend gelbe Linie an derselben Stelle, wo das ebenso lange Sonnenspektrum eine schwarze Linie besitzt. Läßt man nun durch jenes gleichartige Licht des Platins die durch Kochsalz gelb gefärbte Flamme gehen und beobachtet nun das vereinigte Licht durch ein Prisma; so ist jene gelbe Linie verschwunden und an ihrer Stelle eine schwarze. Die nähere Untersuchung hat ergeben, daß die gelbe Linie nur von dem im Kochsalze enthaltenen Natrium-Metalle herrührt.

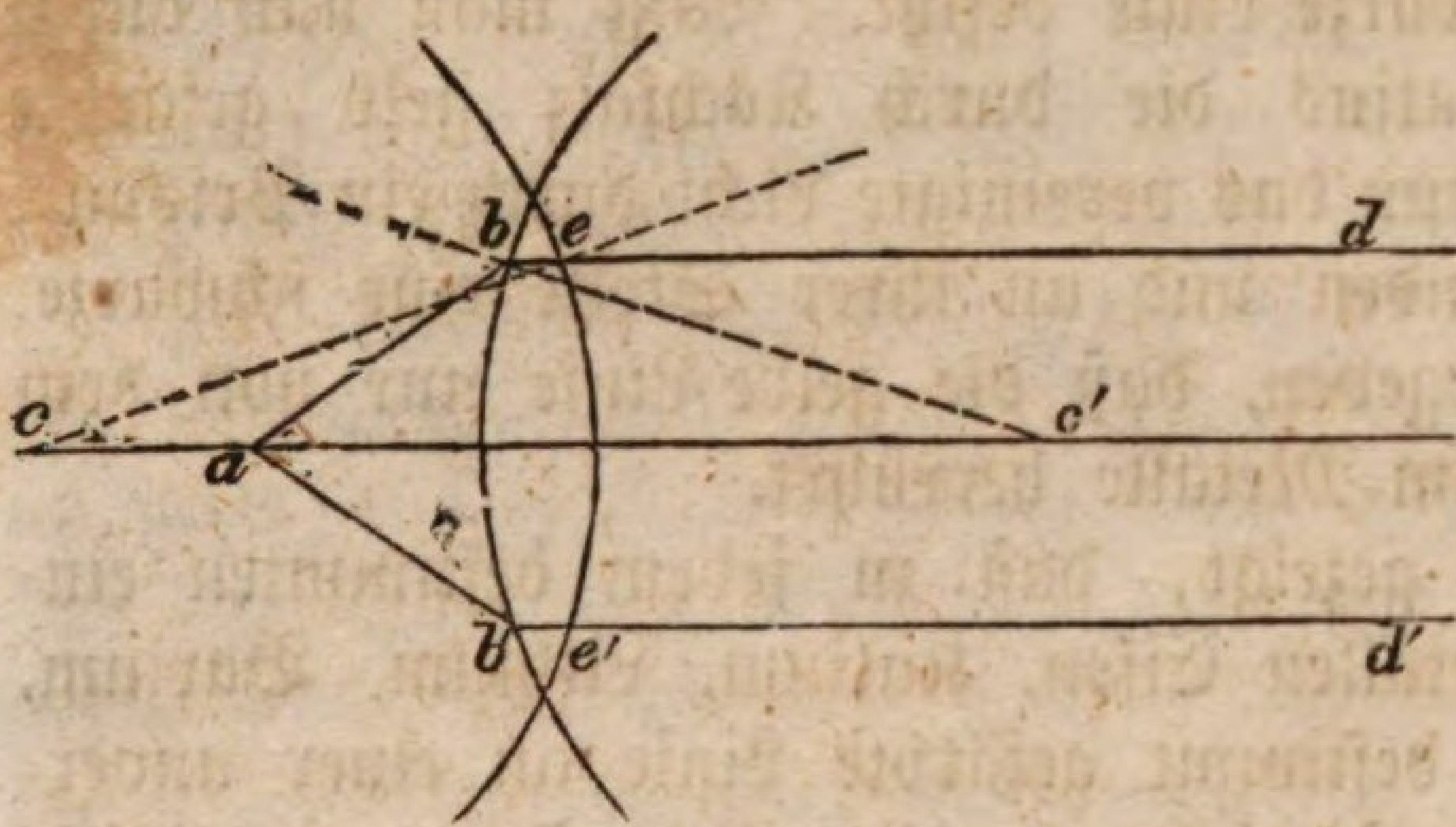
In gleicher Weise hat sich gezeigt, daß zu jedem bestimmten einfachen Stoffe, z. B. zu den Metallen Eisen, Kalium, Lithium, Barium, Strontium, Kalzium, auch eine bestimmt gefärbte Linie an einer unveränderlichen Stelle gehört und daß dieses farbige Licht stets ausgelöscht wird durch gleichartiges Licht, welches jenes durchdringt. Daraus folgt also, daß jede dunkle Linie im Sonnenspektrum zu einem Stoffe gehört, dessen farbige Flamme ausgelöscht wird, wenn durch sie gleichartiges Licht geht. Da mit Ausnahme des Lithium die Linien der anderen obigen Körper im Sonnenspektrum vorhanden sind, so ergibt sich, daß vom Sonnenkörper gleichartiges Licht ausgeht und daß dieses das in ihrer Atmosphäre durch Verbrennung verschiedener Stoffe, vorzüglich des Eisens, entstandene Licht durchdringt. Auf diese Weise ist u. a. ermittelt, daß der Syrius aus Steinsalz besteht.

Man hat somit ein Mittel, das Vorhandensein von Stoffen selbst in solchen Fällen zu ermitteln, in welchen die Chemie uns völlig rathlos läßt. Das Natrium gibt wunderbarer Weise selbst in einem Dreimilliontel Millegramm Kochsalz noch die gelbe Linie; das Lithium gibt in gleichem Maße eine rothe und noch eine schwach gelbliche Linie; von Kalium ist ein Tausendtel eines Millegramms nothwendig. Ein Stäubchen Zigarrenasche auf einem angehauchten Platindrahte verräth die Anwesenheit aller drei Metalle in ihr. Sind Pflanzen auf granithaltigem Boden gewachsen, so verräth sich das Lithium sogar noch in

dem Blute der Thiere, welche solche Pflanzen genossen haben. So hat die Wissenschaft ein Mittel gefunden, welches uns nicht nur über die Stoffe der Himmelskörper in dem unendlichen Raume, sondern auch der irdischen Körper in ihrer Vertheilung bis ins unendlich Kleine Aufschluß zu geben verspricht.

3) Die beiden Begränzungsebenen des Körpers, durch welchen die Wellenbewegung geht, gehören Kugelflächen an.

Wenn ein Körper von zwei krummen Flächen begränzt wird, welche Theile von Kugelflächen sind, so heißt er eine Linse und zwar eine doppelt erhabene oder bikonvexe, wenn die Kugelstücke einander die hohle Seite zuwenden; eine doppelt hohle oder bikonkave, wenn sie einander die erhabene Seite zukehren. Jene sind in der Mitte dicker, diese dünner als am Rande. Es gibt noch Linsen, welche auf der einen Seite eben, auf der anderen entweder erhaben oder hohl sind (plankonvex, plankonkav), und noch konvexkonkave und konkavkonvexe, jenachdem die Konkavität oder Konvexität größer ist.

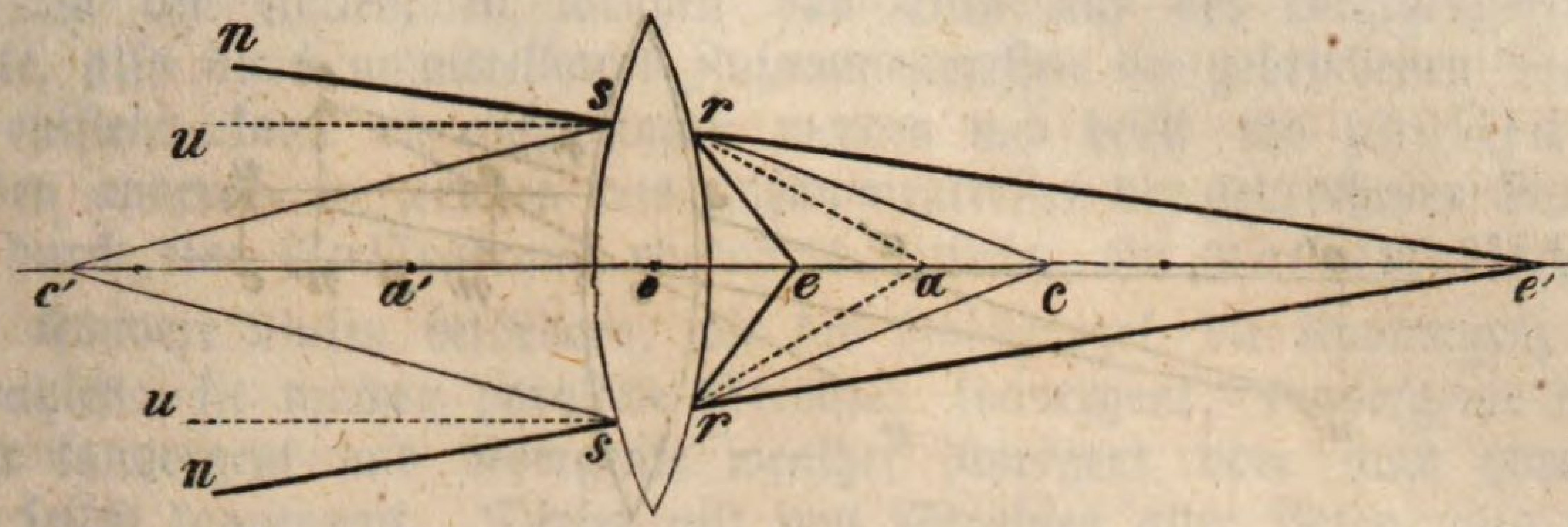


(Fig. 3 3.)

a) Bikonvexe Linsen. Wenn in Fig. 303 c und c′ die Mittelpunkte von zwei Kugeln (hier mit gleichen Radien) sind, so daß also cc′ die Axe ist; so ist bee′b der Axenschnitt der Linse oder des beiden Kugeln gemeinschaftlichen Theiles.

Kommen Strahlen parallel mit der Axe an, wie es von den Sonnenstrahlen gilt, z. B. die Strahlen de und d′e′; so wird jeder im Glase zu seinem Einfallslothe gebrochen, welches für de der Strahl ce, für d′e′ der Strahl ce′ ist. Dieses bewirkt schon eine Annäherung zur Axe. Wenn ihre Wege im Glase eb und e′b′ sind, so werden sie bei ihren Austrittspunkten b und b′ in die Luft von den Einfallslothen c′b und c′b′ gebrochen und nähern sich somit der Axe noch mehr, so daß sie dieselbe in einem Punkte a treffen, welcher der Brennpunkt der Linse heißt, weil in ihm, wenn man die Sonnenstrahlen parallel mit der Axe auffallen läßt, dort ein kleines Sonnenbild entsteht und ein leicht entzündlicher Gegenstand, z. B. Papier, Zündschwamm, Holz, anbrennt. Solche doppeltkonvexe Linsen werden daher auch Brenngläser genannt. Die Brennweite ist die Entfernung des Brennpunktes von dem Mittelpunkte der Linse.

Es ist klar, daß Strahlen, welche vom Brennpunkte ausgehen, jenseits der Linse parallel fortgehen müssen und somit ein Bild nicht erzeugen können. Es wird für die weitere Betrachtung angemessen sein, diesen Fall als Grundlage festzuhalten.



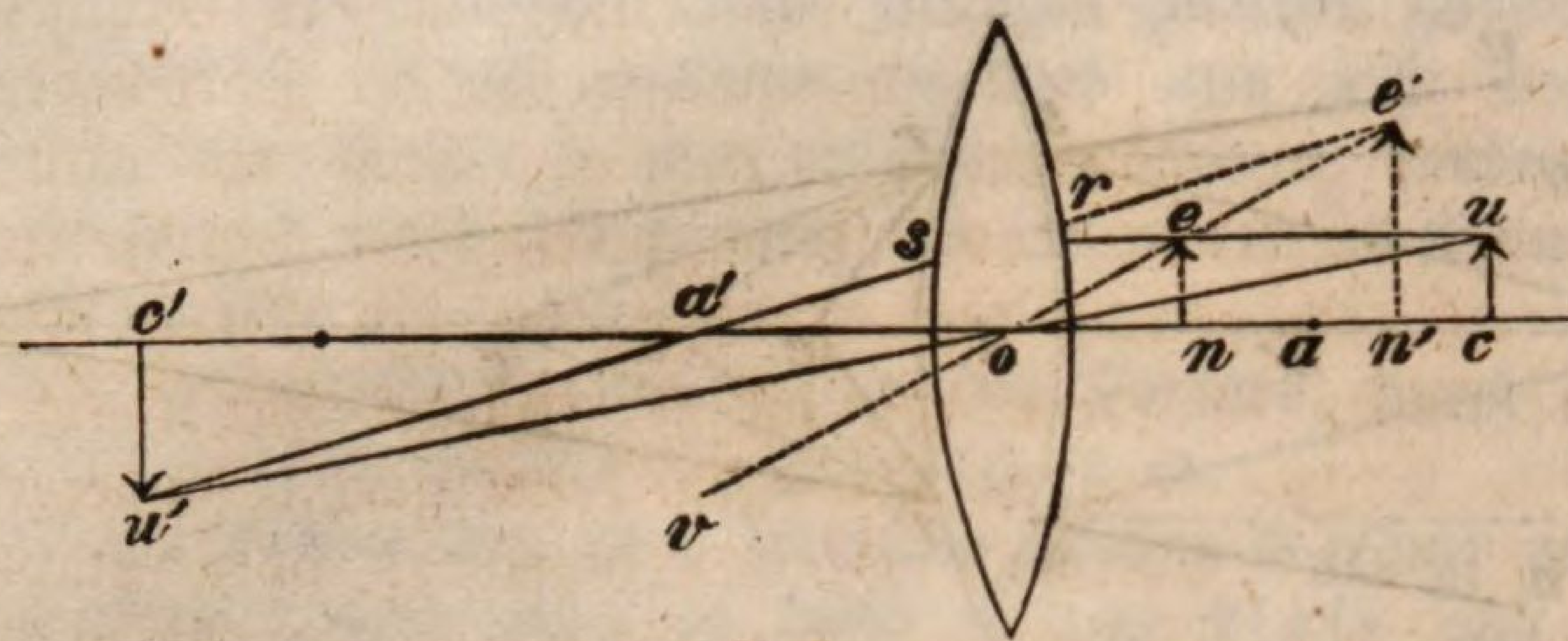
(Fig. 304.)

Der Punkt in der Axe, von welchem Strahlen ausgehen können, kann nun vom Brennpunkte a aus (Fig. 304) entweder der Linse sich nähern oder von ihr sich entfernen.

Nähert sich der Punkt der Linse, z. B. bis e, oder gehen die Strahlen wie e r noch mehr auseinander, als wenn sie vom Brennpunkte kämen, so können sie jenseits der Linse nicht mehr parallel bleiben, sondern müssen noch wie s n auseinander gehen und können nur rückwärts verlängert diesseits in e′ einander treffen und ein Bild geben. Dieses Bild aber ist in um so größerer Entfernung von der Linse, je näher der Ausgangspunkt nach dem Brennpunkte liegt; je näher der Ausgangspunkt an die Linse rückt, desto näher tritt auch das Bild auf derselben Seite an sie heran.

Entfernt sich der in der Axe liegende Ausgangspunkt der Strahlen von dem Brennpunkte und der Linse, z. B. bis c, so werden die auffallenden Strahlen c r nach dem Durchgange weniger divergent, als wenn sie vom Brennpunkte ausgingen, werden also jenseits der Linse zusammenlaufen (konvergent werden) und dort ein Bild c′ geben, welches sich der Linse nähert, wenn sich der Ausgangspunkt entfernt. — Bei diesem Entfernen des Punktes und Annähern seines Bildes tritt endlich einmal der Fall ein, daß beide von der Linse gleiche Entfernung haben und die Strahlen beider zu beiden Seiten der Linse gleich oder symmetrisch liegen und daher heißen diese Punkte die symmetrischen Sammelpunkte. Sie liegen bei Glaslinsen in der doppelten Brennweite von der Linse.

Liegt der Punkt, von welchem Wellenstrahlen ausgehen, außerhalb der Axe, aber in ihrer Nähe, wie u oder e (Fig. 305), so geht der mit der Axe parallele Strahl u r oder e r nach der doppelten Brechung durch den Brennpunkt a′ der Linse. Der Strahl, welcher von u und von e durch den Mittelpunkt o der Linse gerichtet ist, nämlich u o und e o, geht in unveränderter Richtung durch die Linse, weil die beiden Stellen des Ein- und des Austrittes als parallel anzusehen sind. In beiden Fällen entsteht ein Bild des Ausgangspunktes: ist derselbe, wie u außerhalb der Brennweite, so liegt es jenseits der Linse auf der ent-



(Fig. 305.)

gegengesetzten Seite der Axe in u'; ist derselbe innerhalb der Brennweite wie e, so liegt es diesseits der Linse auf derselben Seite der Axe in e' und in größerer Entfernung von der Linse. In jenem Falle treffen die durchgegangenen Strahlen ou' und sa' bei ihrer Verlängerung einander unmittelbar, in diesem Falle müssen sie, nämlich ov und sa', rückwärts verlängert werden, wie oe und se'.

Nun läßt sich leicht bestimmen, wie es sich mit der Lage, Größe und Entfernung der Bilder von ganzen Gegenständen verhalten wird.

1) Ist der Gegenstand in der Entfernung der Brennweite, so erscheint kein Bild, weil die Strahlen nach der Brechung parallel sind.

2) Ist der Gegenstand, wie en, innerhalb der Brennweite, so entsteht von ihm auf derselben Seite ein grades und entfernteres, also vergrößertes Bild e'n', welches mit der Annäherung des Gegenstandes an den Brennpunkt sich entfernt und vergrößert.

Diesen Fall benutzt man, um kleine Schrift mittelst der sogen. Lesegläser sich vergrößert darzustellen oder um noch viel kleinere Gegenstände, z. B. Pflanzentheile mittelst der Loupen, welche eine größere Konvexität, also kleinere Brennweiten haben, noch deutlich zu erkennen.

3) Ist der Gegenstand, wie uc außerhalb der Brennweite, so entsteht auf der entgegengesetzten Seite ein umgekehrtes Bild und zwar

a) von derselben Größe in der Entfernung des symmetrischen Sammelpunktes beider. Man kann dies leicht an dem mit einem weißen Papiere aufgefangenen Bilde einer kleinen Flamme erkennen, die in der doppelten Brennweite einer Glaslinse aufgestellt ist.

b) Nähert sich der Gegenstand vom Sammelpunkte aus dem Brennpunkte, so entfernt sich das Bild vom anderen Sammelpunkte und wird größer.

c) Entfernt sich der Gegenstand vom Sammelpunkte und der Linse, so ist das Bild zwischen dem anderen Sammel- und Brennpunkte und wird kleiner.

In den Fällen, in welchen das Bild auf der entgegengesetzten Seite, also durch unmittelbares Zusammentreffen der gebrochenen Strahlen entsteht, kann es aufgefangen werden und heißt ein physisches, in den anderen, in welchen das Zusammentreffen der gebrochenen Strahlen durch eine Verlängerung rückwärts entsteht, ein mathematisches.

Konvexe Linsen befördern, wie die Hohlspiegel, die Konvergenz der Strahlen: sie machen parallele Strahlen konvergent, konvergente noch mehr konvergent und divergente weniger divergent oder auch parallel und selbst konvergent. Dieses gilt von Strahlen aller Arten, also von Schall-, Wärme- und Lichtstrahlen.

Setzt man aus dünner Kollodiumhaut eine große bikonvexe Linse mittelst eines kreisrunden Drahtes zusammen und füllt man den Zwischenraum mit einer stärker brechenden Luftart, als atmosphärischer Luft aus, so hört man in dem Brennpunkte der Linse das Ticken einer Taschenuhr sehr deutlich, wenn dieselbe auch in einer ziemlich großen Entfernung jenseits sich befindet; in anderen näher liegenden Punkten nicht so deutlich.

Schleift man aus recht klarem Steinsalze eine bikonvexe Linse, so zeigt sich in ihrem Brennpunkte durch die Brechung der Wärmestrahlen eine namhafte Temperaturerhöhung, wenn jenseits der Linse ein heißes Stück Eisen u. dergl. in größerer Entfernung angebracht ist.

Newtons Farbenringe. Hierher gehören noch die Farbenerscheinungen, welche sich bei einer ganz dünnen Schicht eines festen oder flüssigen Körpers zeigen und von dem Zusammenwirken des gebrochenen und zurückgeworfenen Lichtes von zwei sehr nahe liegenden Quellen herrühren, z. B. bei Splittern von ganz dünnen Glaskugeln, bei Seifenblasen, bei einer dünnen Luftschicht in dem Sprunge eines dicken Glases oder Krystalles, bei einem Tropfen ätherischen Oeles oder Firnisses auf Wasser, bei altem Fensterglase.

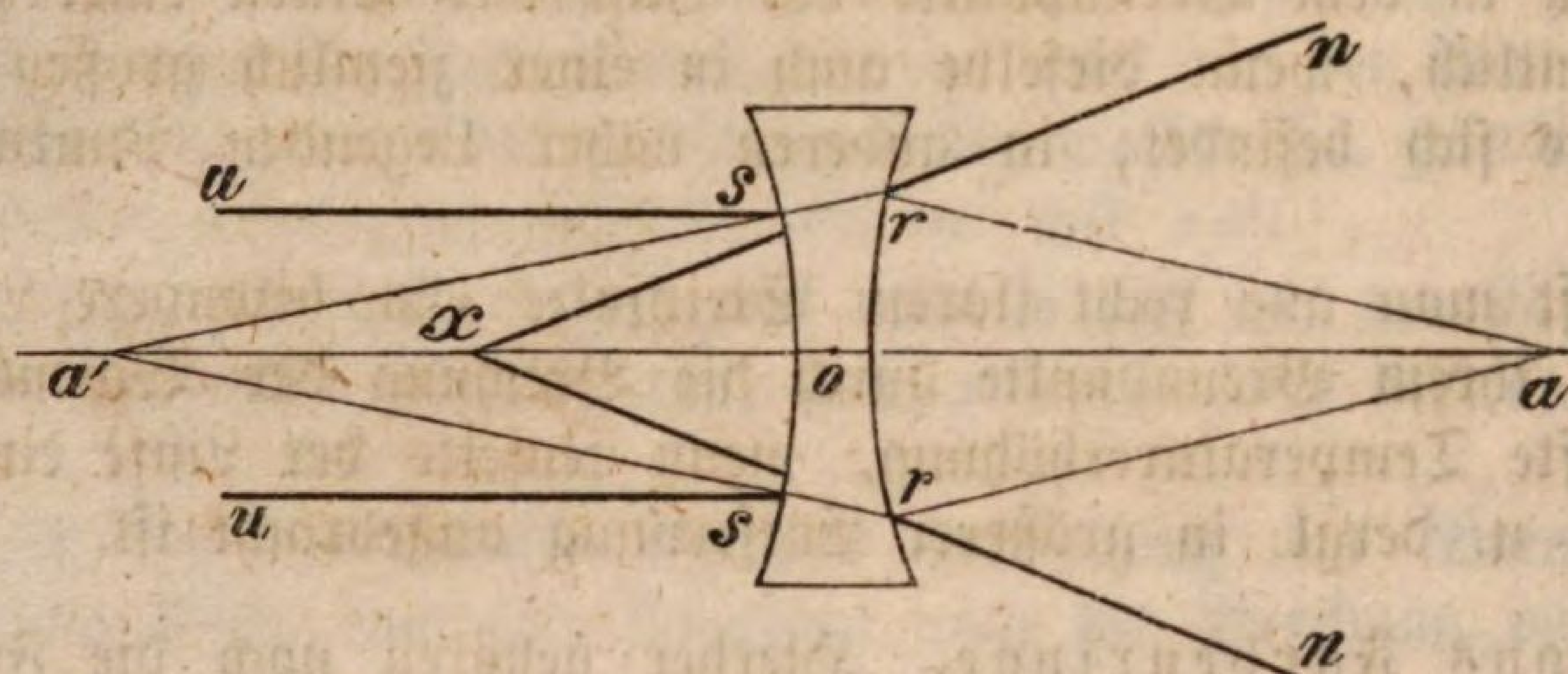
Um diese Erscheinungen genauer zu untersuchen, wendete Newton eine ebene, recht gut geschliffene Glasplatte und eine Konvexlinse von sehr großem (40—50 Fuß langem) Krümmungsradius an. Legt man die Linse auf die Platte, so ist zwischen beiden eine Luftschicht, deren Dicke von dem Berührungspunkte der Gläser an zunimmt und in jeder Entfernung von ihm bestimmt werden kann. — Läßt man einfarbiges Licht durchgehen oder zurückwerfen, so zeigen sich abwechselnd dunkle und helle Ringe von der betreffenden Farbe, welche für Roth am breitesten, für Violett am schmalsten und für die Zwischenfarben von mittlerer Ausdehnung sind. Für jede einzelne Farbe werden die Ringe nach außen zu immer schmaler, weil die Dicke der Zwischenschicht rascher wächst, als die Entfernung vom Berührungspunkte. Da, wo im durchgelassenen Lichte die dunklen Ringe sind, befinden sich im zurückgeworfenen die hellen und umgekehrt, weil das Licht bei der Zurückwerfung von der

entfernteren Gränzfläche um eine halbe Wellenlänge sich verspätet gegen den Fall beim durchgelassenen Lichte.

Es ist wohl klar, daß sich auch hieraus die Wellenlängen und Schwingungszahlen der verschiedenen Farben bestimmen lassen. Vergl. S. 30 und 39.

Wendet man weißes Licht an, so entstehen wegen der verschiedenen Wellenlängen der einzelnen Farben sieben wahrnehmbare Ringsysteme, worunter aber auch gemischte Farben sind, weil die einfachen einander zum Theil decken.

Ist Wasser statt Luft in der Zwischenschicht, so sind die Ringe enger, weil die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser kleiner, als in der Luft ist. Man kann übrigens aus der Wellenbreite und Schwingungszahl auch auf die Geschwindigkeit schließen.



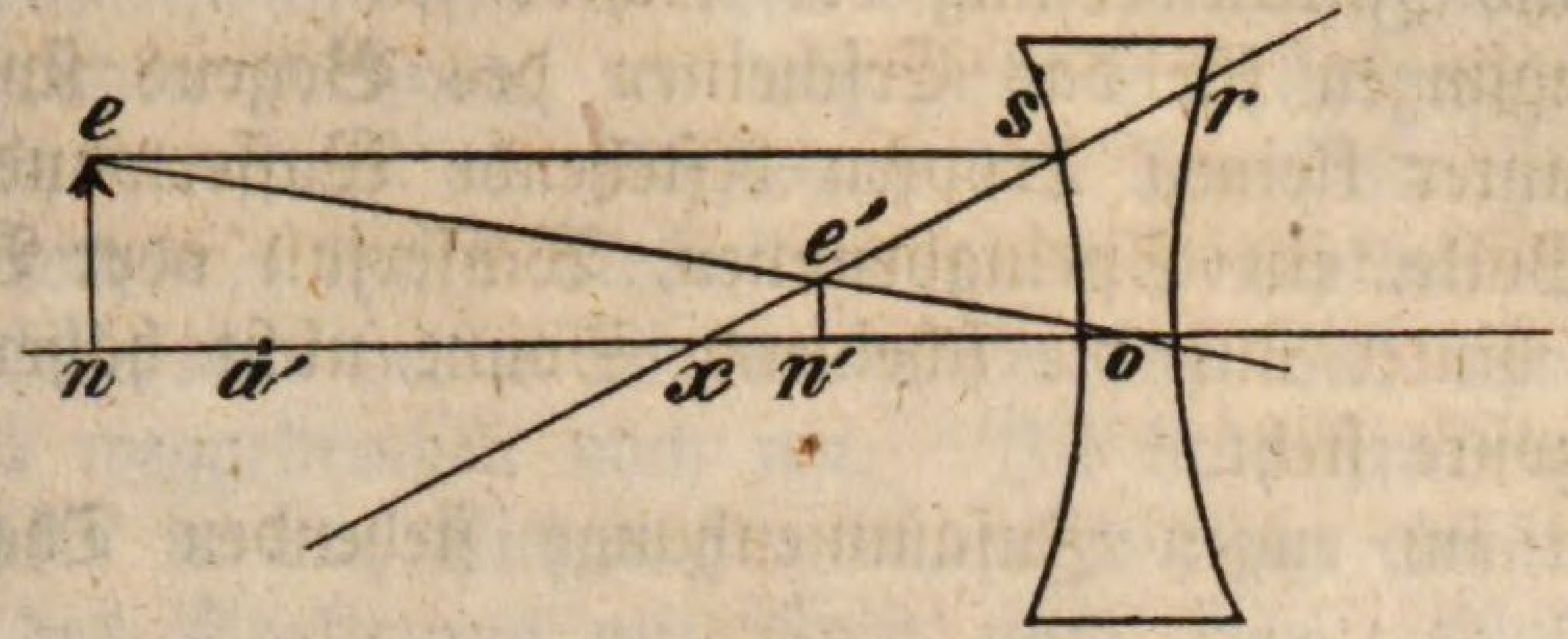
(Fig. 306.)

b) Bikonkave Linsen. Wenn a und a' (Fig. 306) die Krümmungsmittelpunkte der im Durchschnitte gezeichneten Linse sind, also aa' die Axe ist und es fallen mit der Axe parallele Strahlen us auf, so werden sie schon in der Linse von der Axe weg in der Richtung sr gebrochen, weil sie sich dem verlängerten Einfallslothe a's nähern und bei ihrem Austritte jenseits noch mehr in der Richtung rn, weil sie sich von dem Einfallslothe ar entfernen. Die diesseits parallel auffallenden Strahlen werden also jenseits divergent und können nur rückwärts verlängert ein Bild in dem negativen Brennpunkte x geben, welches bei Glaslinsen im Halbirungspunkte des Strahles liegt.

Gelangen ankommende Wellenstrahlen von der Axe aus divergent auf die Linse, so müssen sie nach der doppelten Brechung noch mehr divergiren und ihr Durchschnittspunkt liegt der Linse stets näher, als der negative Brennpunkt x.

Liegt der Ausgangspunkt e (Fig. 307) der Strahlen außerhalb der Axe, so geht der nach dem Mittelpunkte o der Linse gerichtete Strahl ungebrochen durch, der mit der Axe parallele muß nach der doppelten Brechung in seiner nach dem negativen Brennpunkte verlängerten Richtung rx betrachtet werden und gibt mit jenem in dem

Durchschnittspunkte e′ das Bild von e; also das Bild erscheint auf derselben Seite der Axe und der Linse stets näher.



(Fig. 307.)

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß die Konkavlinsen die Strahlen zerstreuen und stets verkleinerte mathematische Bilder auf derselben Seite der Linse geben. Mit Annäherung des Gegenstandes an die Linse wächst das Bild, wie es leicht von einem Auge jenseits der Linse erkannt wird. — Praktisch findet man die Brennweite einer Konkavlinse, wenn man Sonnenstrahlen parallel mit der Axe auffallen läßt und die Linse einer weißen Fläche so weit nähert, daß der erleuchtete Kreis auf ihr einen doppelt so großen Durchmesser, als die Linse hat; die Entfernung der Linse von der Fläche ist die Brennweite.

Nur die in der Nähe der Axe auf die Linsen kommenden Strahlen haben einen gemeinschaftlichen Vereinigungspunkt, die in größerer Entfernung, namentlich am Rande auffallenden aber andere der Linse näher liegende Punkte. Man hält daher die Randstrahlen durch einen schwarzen Ring, die sogen. Blende, ab, damit die Oeffnung der Linse, die Apertur, vom Brennpunkte aus kleiner erscheint.

So wie man aus zwei verschiedenen Glassorten Prismen zusammensetzen konnte, welche die Strahlen zwar noch brechen, die Farben aber nicht mehr zerstreuten, so hat man auch farblose oder achromatische Linsen geschliffen. Man setzt ein konvexes Kronglas mit einem konkaven Flintglase oder, um die für einzelne Farben noch übrig gebliebene Zerstreuung zu beseitigen, zwei konvexe Kronglaslinsen mit einer bikonkaven von Flintglas zu einer Linse zusammen, welche bikonvex ist. Erst nach der Konstruktion der achromatischen Linsen ist es möglich geworden, die herrlichsten Entdeckungen im Großen und Kleinen zu machen; denn die Farbenzerstreuung macht die Bilder sehr undeutlich.

Der Regenbogen. Nun wollen wir die noch hierher gehörige prachtvolle Naturerscheinung des Regenbogens etwas näher betrachten und zu erklären suchen.

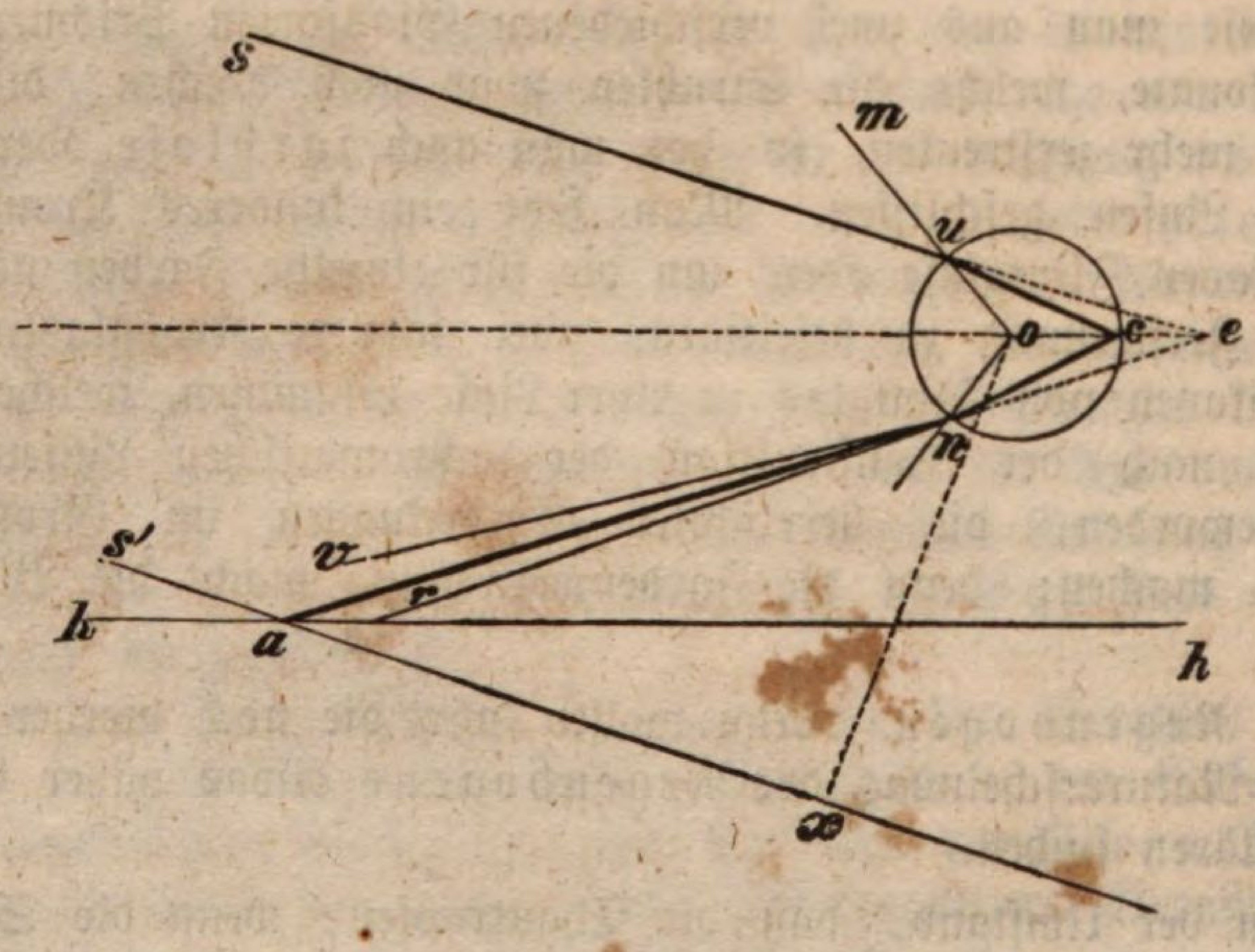
Schon der Umstand, daß die Thautropfen, wenn die Sonne auf sie scheint, in den herrlichen Farben des Regenbogens, je nach unserem

Standpunkte in verschiedenen, erglänzen, obwohl ihr Hintergrund ein dunkler ist, läßt uns vermuthen, daß der Regenbogen eine Erscheinung der Brechung und Zurückwerfung des Lichtes ist.

Die Bedingungen für das Erscheinen des Bogens sind, daß vor uns eine aus lauter kleinen Tropfen bestehende Wasserwand ist, wie sie eine regnende Wolke, ein Springbrunnen, Wasserfall oder Währ u. dgl. bilden und daß hinter uns die scheinende Sonne nicht höher als $42\frac{1}{2}^{\circ}$ über dem Horizonte steht.

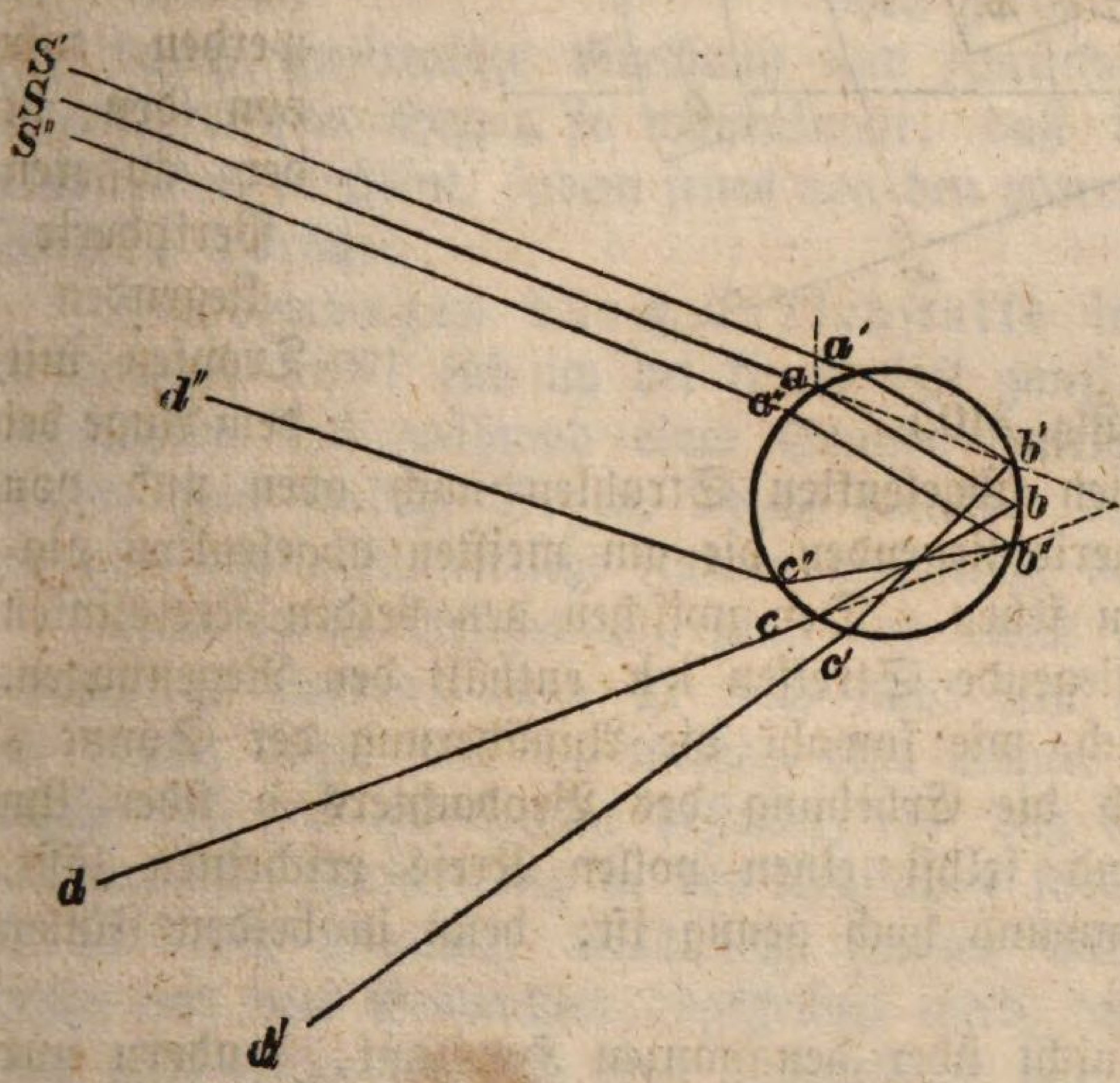
Die damit im engen Zusammenhange stehenden Thatsachen sind folgende:

Die Verbindungslinie des Mittelpunktes der Sonne und unseres Auges trifft bei ihrer Verlängerung den Mittelpunkt des Kreises, zu welchem der Regenbogen gehört; beim Auf- und Untergange der Sonne erscheint daher ein Halbkreis; für einen bestimmten Standpunkt des Beobachters nimmt bei steigender Sonne der Bogen ab, bis er verschwindet, wenn die Sonne höher als $42\frac{1}{2}^{\circ}$ sich erhebt; überhaupt liegt der Mittelpunkt des Kreises so tief unter dem Horizonte, als die Sonne über ihn steht; bei sinkender Sonne aber und hoher Tropfenwand nimmt der Bogen so zu, daß er ein voller Kreis werden kann, wobei der Mittelpunkt des Kreises so hoch über dem Horizonte liegt, als die Sonne unter ihm ist; auf der inneren Seite ist der Hauptbogen violett, auf der äußeren roth; dazwischen liegen die anderen Farben grade in der Ordnung, wie im prismatischen Bilde; ist die Wassertropfenwand hoch genug und die Luft dazwischen hinreichend klar, so sieht man darüber noch einen matteren gleichlaufenden Regenbogen mit umgekehrter Ordnung der Farben.



(Fig. 308.)

Um die Entstehung des Hauptregenbogens zu ermitteln, sei cun (Fig. 308) der lothrechte Schnitt eines Regentropfens, su ein auf ihn fallender Sonnenstrahl, für welchen ou das Einfallsloth ist. Er wird von seiner graden Richtung ue weg zum Einfallslothe in der Richtung uc gebrochen, hier auf der Rückwand des Tropfens theils vorwärts in die Luft gebrochen, theils rückwärts unter demselben Winkel (ocn = ocu) geworfen, tritt bei n wieder in die Luft und wird hier vom Einfallslothe on weggebrochen nach na. Ist in a ein Auge, so sieht es ein Sonnenbild in der Richtung ane, aber nicht einfarbig, sondern in den Farben des Spektrums mit Roth nach oben, Violett nach unten, weil der rothe Strahl von n aus am wenigsten (nach nr), der violette am meisten (nach nv) abgelenkt wird. Der Winkel sea gibt die Ablenkung des von s ausgehenden und in a anlangenden Strahles an. Der Eindruck in a ist am wirksamsten, wenn der Einfallswinkel sum gegen 58—60° beträgt. Ist er nämlich kleiner oder größer, so werden selbst parallel dicht nebeneinander auffallende Sonnenstrahlen bei ihrem Austritte nach so sehr verschiedenen Richtungen abgelenkt, daß ein wirksamer Eindruck von ihnen nicht entsteht.

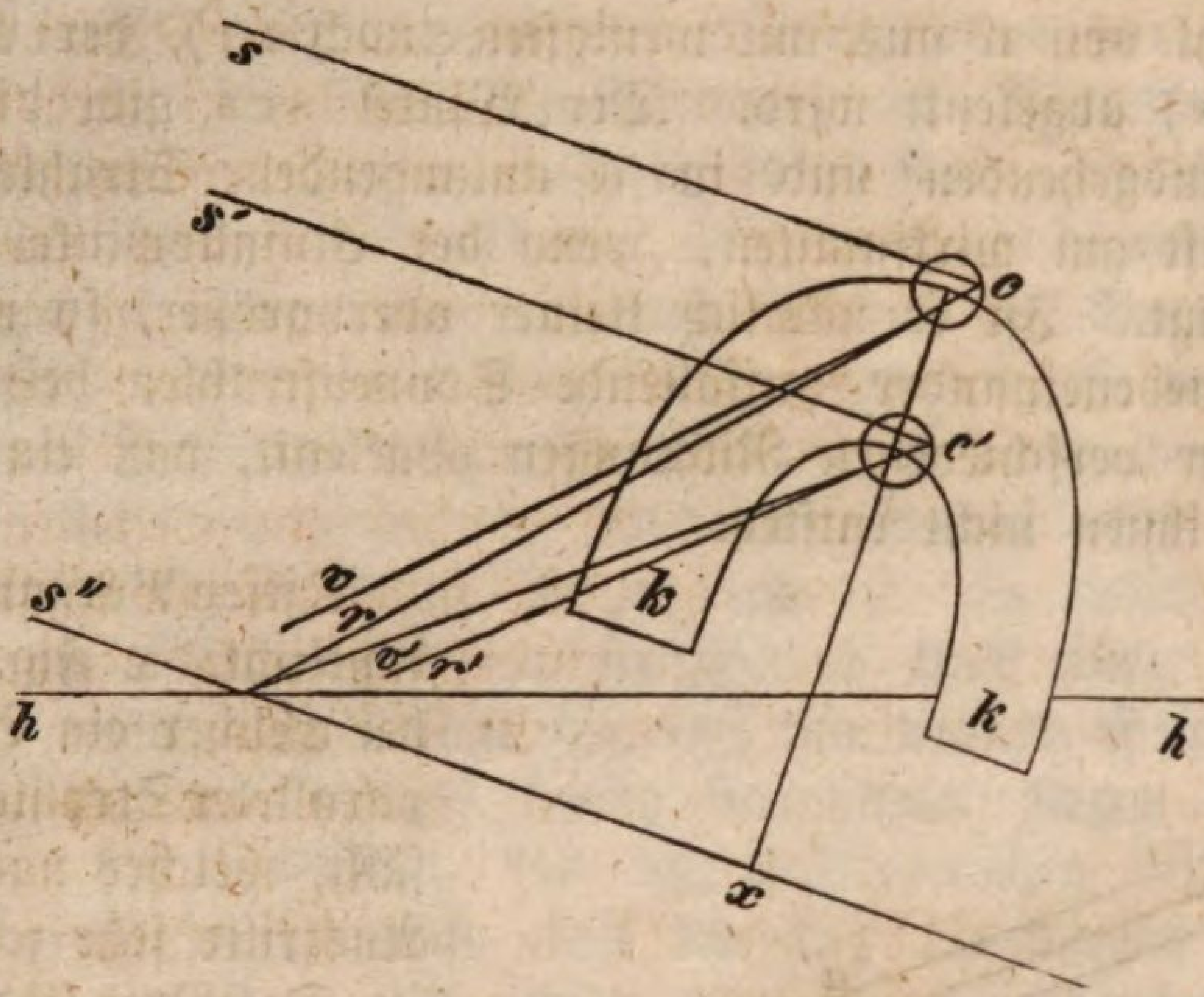


(Fig. 309.)

Diesen Vorgang verdeutlicht die Fig. 309, bei welcher ein Bündel paralleler Strahlen auffällt, welches nach dem Austritte sehr zerstreut ist. Die Wege sind durch die gleichartigen Buchstaben bezeichnet.

Da aber jeder Strahl in Farben zerlegt wird, so ist die Ablenkung in diesem Falle für das Roth nach der Richtung des auffallenden Strahles höchstens 42° 30′ und für das Violett 40° 30′, so daß der Winkel, welchen die äußersten Farben bilden, 2° (eigentlich 2° 18′) beträgt. Weil aber die Sonne nicht ein leuchtender Punkt ist, sondern einen Durchmesser von 30′ besitzt, so muß jede einzelne Farbe eine Breite von 30′, also alle sieben Farben eine von 7 . 30′ oder $3\frac{1}{2}$° haben. Da dieses mehr beträgt, als die Breite des Regenbogens, so ergibt sich daraus, daß die benachbarten Farben etwas in einander übergreifen. — Es ist ferner klar, daß alle Wassertropfen, welche gegen die Sonne und das

Auge dieselbe Lage haben, auch dieselbe Strahlengattung zeigen müssen. Es ist nun sehr leicht, die Lage aller dieser Tropfen zu bestimmen. Man denkt sich durch den Mittelpunkt der Sonne und das Auge die auf dem Horizonte senkrechte Ebene gelegt. In dieser Ebene befindet sich in einem bestimmten Augenblicke ein Wassertropfen, welcher eine bestimmte Farbe zeigt. Fällt man von ihm die lothrechte Linie auf die verlängerte Verbindungslinie zwischen Sonne und Auge und dreht man den entstandenen rechten Winkel um die letztere Linie als Axe, so beschreibt der im Tropfen liegende Ausgangspunkt des Perpendikels eine Kreislinie, in welcher die Tropfen dieselbe Farbe geben müssen.



(Fig. 310.)

Wenn man nun (F. 310) in Beziehung auf die Tropfen c und c′ mit cx und c′x die Kreise um x beschreibt, so werden wir von den in der äußeren Peripherie liegenden Tropfen mit dem Auge bei a die rothen, am wenigsten abgelenkten Strahlen nach oben und von den in der inneren Peripherie liegenden die am meisten abgelenkten violetten Strahlen nach unten sehen. Der zwischen den beiden Kreislinien über dem Horizonte hh liegende Streifen kk enthält den Regenbogen. Es ist hier zugleich deutlich, wie sowohl die Annäherung der Sonne s an den Horizont, als auch die Erhebung des Beobachters a über ihn den Bogen vergrößert und selbst einen vollen Kreis erscheinen läßt, wenn nur dabei die Regenwand hoch genug ist; denn in beiden Fällen wird x gehoben.

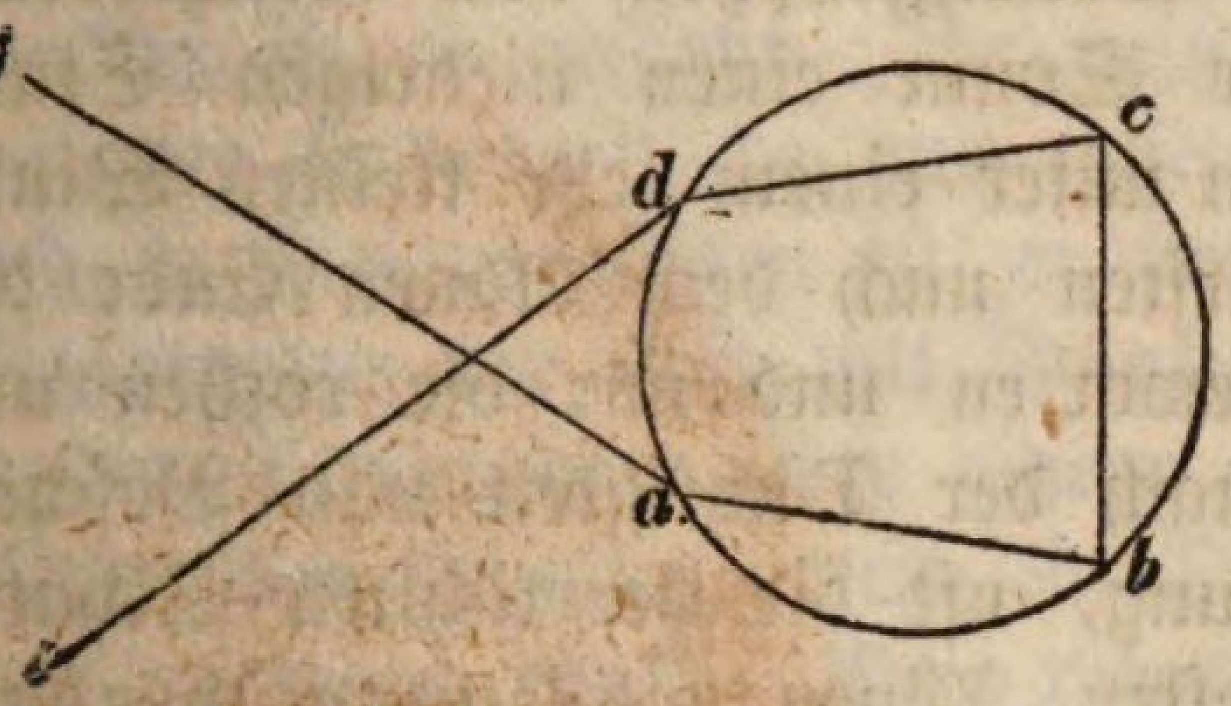
Regnet es vor uns nicht über den ganzen Horizont, sondern nur aus einer einzigen seitlichen Wolke, so ist auch der Bogen unvollständig, was man wohl eine Wassergalle nennt.

Obwohl die Stellen, an denen wirksame Strahlen erscheinen, fortwährend durch neue Tropfen ersetzt werden, so ist der Eindruck für uns doch ein dauernder, weil unser Auge, wie auch aus anderen bekannten Erfahrungen hervorgeht, einen in einem gewissen Augenblicke empfangenen Eindruck mit dem Aufhören der wirkenden Ursache nicht auch sofort verliert, sondern noch eine kurze Zeit behält.

Aus verschiedenen Standpunkten sieht man in demselben Augenblicke oder auch in demselben Standpunkte und verschiedenen Zeiten einen anderen und durch andere Tropfen gebildeten Regenbogen. Morgens kann er nur gegen Westen, abends nur gegen Osten, mittags in der nördlichen Halbkugel nur gegen Norden erscheinen.

Auch durch den Mond wird zuweilen, wenn auch nur ein matter Regenbogen gebildet.

Der Hauptregenbogen wird gebildet von Strahlen, welche auf den Vordertheil der oberen Hälfte der Wassertropfen fallen; der Nebenregenbogen aber von solchen, welche auf den Vordertheil der unteren Hälfte eintreffen. Ist (Fig. 311) Sa der auffallende Strahl, so wird er im Tropfen nach ab gebrochen, von b nach c und von c nach d zurückgeworfen und geht von d in die Luft gebrochen nach de so fort, daß die violetten Strahlen am weitesten nach unten, die rothen am weitesten nach oben gerichtet sind und ein Auge in e den durch zweimalige Brechung und Zurückwerfung matt gewordenen Strahl in dem Bogen so wahrnimmt, daß Violett nach oben, Roth nach unten erscheint, indem jenes von den oberen, dieses von den unteren Tropfen herrührt.



(Fig. 311.)

Farbenbogen durch Eiskrystalle in der Atmosphäre. Am 8. Februar 1861 sah ich bei klarer fast ganz ruhiger Luft und 3,4° R. Luftwärme fast während einer Stunde (mittags 1—2 Uhr) vor der Sonne zwei farbige Bogen, welche einander die konvexen Seiten zukehrten und eine symmetrische Farbenvertheilung besaßen.

Eine solche Erscheinung kann nur unter ganz besonders günstigen Umständen eintreten und ist noch nicht sehr häufig beobachtet worden. Es gehört dazu, wie ich meine, eine Wand von zarten Eiskrystallen, welche sich vor der Sonne befindet, so daß die Sonnenstrahlen durch prismatische Zerstreuung in den Krystallen farbig werden; während diese Wand durch Stauung eines sehr sanften Südwindes an der Erdoberfläche vor dem Beobachter abgegränzt wird, befindet sich über ihm noch eine nach unten ziemlich eben abgegränzte und durch den warmen Wind abgeschnittene Schicht ebensolcher Krystallchen. Die erste Wand erzeugt den Hauptbogen und dieser wird in der letzteren Schicht matter abgespiegelt, erscheint also verkehrt, wie jeder Gegenstand, welchen wir durch einen horizontal über uns gehaltenen Spiegel ansehen. Dabei zeigten sich noch Nebensonnen durch Spiegelung.

Die Morgen- und Abendröthe entsteht ebenfalls durch Lichtbrechung. Wenn die atmosphärische Luft das Wasser in wirklichem Dampfzustande enthält, so ist sie klar und durchsichtig; je mehr aber

die Verwandlung der Dämpfe in Dünste vorschreitet, welche aus sehr kleinen hohlen Wasserbläschen bestehen, desto mehr wird das reine Blau gebleicht und der Himmel erscheint grauweiß, wenn die Dunstbildung noch nicht ganz vollendet ist. Das durch die den Uebergang aus Wasserdämpfen in Wasser darstellenden Dunstbläschen gehende Licht wird theils gebrochen, theils zurückgeworfen: die brechbarsten blauen Strahlen werden auch am leichtesten zurückgeworfen. Daher verkürzt sich auch in der Dämmerung das prismatische Farbenbild mehr und mehr an der blauen Seite, während es zu Mittag, namentlich um die Zeit unseres Sommer-Sonnenstillstandes (21. Juni) am ausgebildetsten ist. Wenn nun durch die Ansammlung der Wasserdünste sich Wolkengruppen von verschiedener Dichtigkeit und Gestalt bilden und die Sonne einen niedrigen Stand am Horizonte hat, so daß ihre Strahlen unter einem sehr kleinen Winkel durch sie gehen; so werden die brechbarsten nach dem blauen Ende des Spektrums liegenden Strahlen zurückgeworfen und nur die rothen und gelben durchgelassen, welche aber, je nach der Dichtigkeit und Beschaffenheit der Wolken und ihrer Gruppirung, oft die herrlichsten Schattirungen und Uebergänge von den zartesten Tönen bis zur glühendsten Farbenpracht zeigen, obwohl den Sonnenstrahlen am Horizonte, wo sie den weitesten Weg (etwa 15 mal weiter, als wenn sie im Zenithe steht) durch die Atmosphäre zu gehen haben, etwa nur 5—6 Hundertel ihrer Stärke geblieben sind.

Beim Sonnenaufgange werden an der Erdoberfläche durch Erwärmung, namentlich aber erst bei einem bereits höheren Stande der Sonne aus den Dünsten unsichtbare Dämpfe erzeugt; beim Sonnenuntergange entstehen aber durch die eintretende Abkühlung umgekehrt aus den Dämpfen sichtbare Dünste. Weil nun diese Verwandlung in der Regel früher eintritt, als jene, so ist das Abendroth meist schöner, als das Morgenroth, und es lohnet sich selten, bei Gebirgsreisen auf sehr hohen Bergen das Morgenroth begrüßen zu wollen.

Wenn man diese beiden Erscheinungen als Vorboten für das etwa zu erwartende Wetter beurtheilen will, so ist festzuhalten, daß beide zwar auf eine große Menge von Dünsten in der Atmosphäre hinweisen, daß sie aber beim Morgenroth in der Entstehung aus Wasser begriffen sind und somit in der Atmosphäre eine Vermehrung des Wasservorrathes anzeigen und daß sie beim Abendrothe vernichtet oder zu Wasser verwandelt werden, wodurch die Atmosphäre von Dünsten befreit wird.

Ein starkes Morgenroth deutet also im Allgemeinen auf schlechtes, ein starkes Abendroth auf gutes Wetter, wenn nicht etwa durch Umsetzen des Windes, wobei der Barometerstand sich ändert, eine Abänderung eintritt. Die Meteorologie wird uns darüber noch einige Aufschlüsse geben. Bei mangelndem Abendrothe und grauem Himmel ist in der Atmosphäre viel dunstförmiges Wasser, also Aussicht zu schlechtem Wetter vorhanden; ist aber der Himmel wolkenfrei und röthlich gelb

gefärbt, so ist für den folgenden Tag große Hitze bei wolkenfreiem Himmel zu erwarten.

Das Blau des Himmels hat seinen Grund darin, daß durch die Luft und die in ihr schwebenden Wasserdämpfe von dem weißen Sonnenlichte nur die blauen Strahlen, welches die brechbarsten sind, auch am leichtesten zurückgeworfen werden. Je mehr aber sichtbare Dünste in der Atmosphäre schweben, desto weniger werden die Lichtstrahlen durchgelassen und von den tiefer liegenden Theilen der Atmosphäre zurückgeworfen, desto weniger blau erscheint also auch der Himmel; je mehr aber die Dünste als unsichtbarer Dampf erscheinen, wie nach einem heftigen Gewitterregen oder Sommerregen überhaupt, desto dunkler ist er gefärbt. In heißen Gegenden erscheint der Himmel auch von der Erdoberfläche aus tiefer blau gefärbt, als in größeren Breiten und in Polargegenden ist er stets grau, weil hier bei der niedrigen Temperatur die Luft mit Dünsten meist übersättigt ist. Je höher man in der Atmosphäre über einem gewissen Orte steigt, desto dunkler erscheint der Himmel, weil die Dunstmenge, durch welche wir sehen, immer geringer wird. Bei ringsum über dem Horizonte gleichmäßiger Beschaffenheit der Atmosphäre wächst die klare und tiefere Färbung nach dem Scheitelpunkte oder Zenithe und die mattere Farbe nach dem Horizonte, weshalb uns die scheinbare Himmelskugel auch, wie wir wissen, abgeplattet erscheint.

Morgen- und Abenddämmerung. Wir wissen aus den Erscheinungen der Refraktion bereits, daß der Einfluß der die Erde umhüllenden Atmosphäre alle Gestirne, die nicht etwa grade im Scheitelpunkte des Beobachters stehen, über den Horizont um so mehr erhebt, je näher sie an demselben liegen und daß diese Erhebung die Sonne uns schon ganz sichtbar erscheinen läßt, wenn sie in Wirklichkeit mit ihrem oberen Rande erst grade in den Horizont tritt. Dieser Einfluß ist es auch, welcher Licht von ihr schon in die Nachtseite treten läßt, wenn sie uns auch noch ganz verborgen ist. Wenn der Sonnenmittelpunkt vor dem Aufgange und nach dem Untergange noch und schon 18° unter dem Horizonte ist, erkennen wir den ersten und letzten matten Lichtschimmer in der Gegend, wo die Sonne auf- und untergehen wird, und von da an beginnt für den Morgen die wachsende Beleuchtung über dem Horizonte oder wir haben Morgendämmerung und für den Abend die völlige Nacht oder die Abenddämmerung hat ihr Ende erreicht.

Aus dieser Lage der Sonne unter dem Horizonte bei der Gränze der Dämmerung kann man den Schluß ziehen, daß die Atmosphäre noch in einer Höhe von etwa 10 Meilen schon die Fähigkeit besitzt, das Licht von seiner gradlinigen Bahn abzulenken.

In einer geographischen Breite von 50 Graden steht am längsten Tage die Sonne um Mitternacht nur 16½ Grad unter dem Horizonte, also geht die Abend- in die Morgendämmerung über und es wird bei

unbedecktem Himmel niemals ganz finster. Je geringer die geographische **Breite** eines Ortes ist, von desto kürzerer Dauer ist die Dämmerung und **in** den Tropengegenden, wo der Himmel meist rein und wolkenleer ist, **das** Sonnenlicht also weniger zerstreut wird und die Sonne fast **senkrecht** auf- und untergeht, erstaunt man über den schroffen Uebergang **vom Tage** zur Nacht. Mit zunehmender geographischer Breite dagegen **wächst** die Zeit der Dämmerung und verkürzt namentlich den Bewohnern **der** Polargegenden die langen Nächte ungemein, wozu noch die **weißen** Schneefelder kommen. — Da für den Pol die Sonne bei ihrem **tiefsten** Stande nur 22½ Grade unter dem Horizonte sich befindet, so **bleibt** sie nicht lange außerhalb der Dämmerungsgränze. — Das herrliche **Mitternachtroth** am Nordhimmel in den kürzesten Nächten.

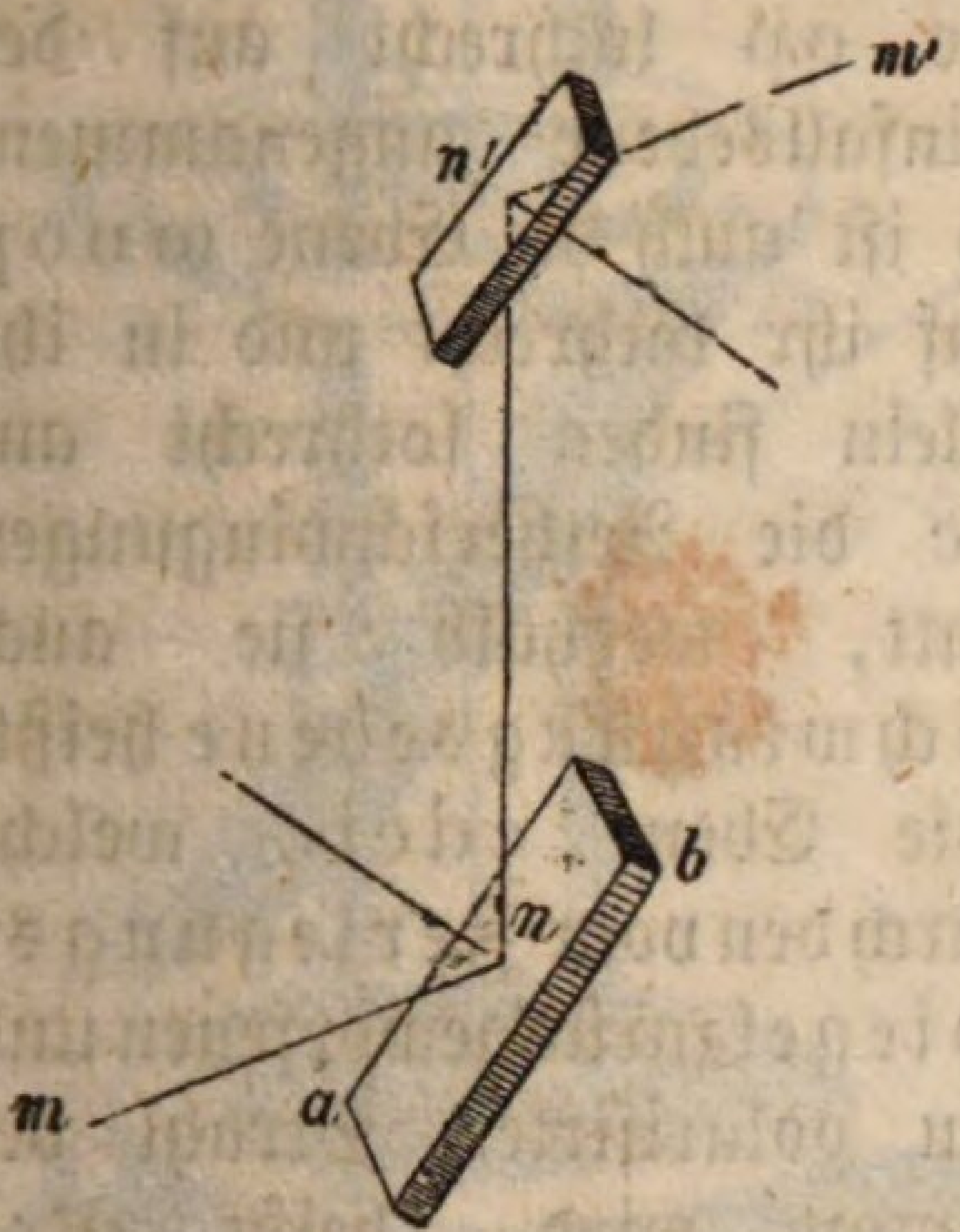
Durch sorgfältige und ganz neue Beobachtungen, namentlich in **Polargegenden**, ist die Thatsache ermittelt, daß es auch eine **Wärmedämmerung** gibt, d. h. daß es an einem bestimmten Orte, für welchen die Sonne noch unter dem Horizonte ist, schon wärmer wird, als es die sonstige Temperatur anzeigen würde, wenn nicht auch die Wärmestrahlen in der Atmosphäre eine Ablenkung von ihrer gradlinigen Bahn nach der Erdoberfläche hin erführen.

Fünfter Abschnitt.

Die Polarisation.

Schwingungen werden einseitig durch das Gefüge der Körper. Da die kleinsten Massentheilchen eines bestimmten Körpers eine bestimmte Gestalt besitzen und sich demnach auch, wenn sie nicht etwa darin gestört werden, in einer ganz bestimmten Weise gruppiren, um den ganzen Körper zu bilden; so ist es natürlich, daß die in die Körper dringenden Schwingungen nach verschiedenen Richtungen auch verschiedene Widerstände erleiden werden. Wir finden daher u. a., daß im Holze der Schall und die Wärme, in den Krystallen das Licht nicht nach allen Richtungen gleich gut fortgepflanzt werden. Es wird also der Fall eintreten, daß die Schwingungen nach gewissen Richtungen mit Leichtigkeit weiter fortgepflanzt werden, somit auch tiefer eindringen können, nach anderen aber zurück- und herausgeworfen werden. Dadurch erleiden sie Veränderungen in ihren Richtungen. Für die Schallschwingungen lassen sich die Erscheinungen weniger leicht verfolgen, weil die Wellendimensionen zu bedeutend sind, aber für die Wärme- und Lichtwellen ergeben sich einige interessante und auch praktisch wichtige Resultate.

Wenn Lichtstrahlen unter irgend einem Winkel auf eine spiegelnde Fläche fallen, so werden sie zwar stets unter demselben Winkel zurückgeworfen und sind auch unter allen Umständen in der Richtung des zurückgeworfenen Strahles sichtbar; aber es gibt für jeden bestimmten, zu einem Spiegel verwendeten Stoffe einen bestimmten Einfallswinkel, bei welchem der zurückgeworfene Strahl nicht mehr durch lothrecht auf ihm stehende Aetherschwingungen in allen denkbaren Ebenen, denen er angehört, erzeugt wird, sondern nur durch Schwingungen in einer einzigen Ebene, so daß also der zurückwerfende Körper die Schwingungen nach allen übrigen Richtungen vernichtet hat.



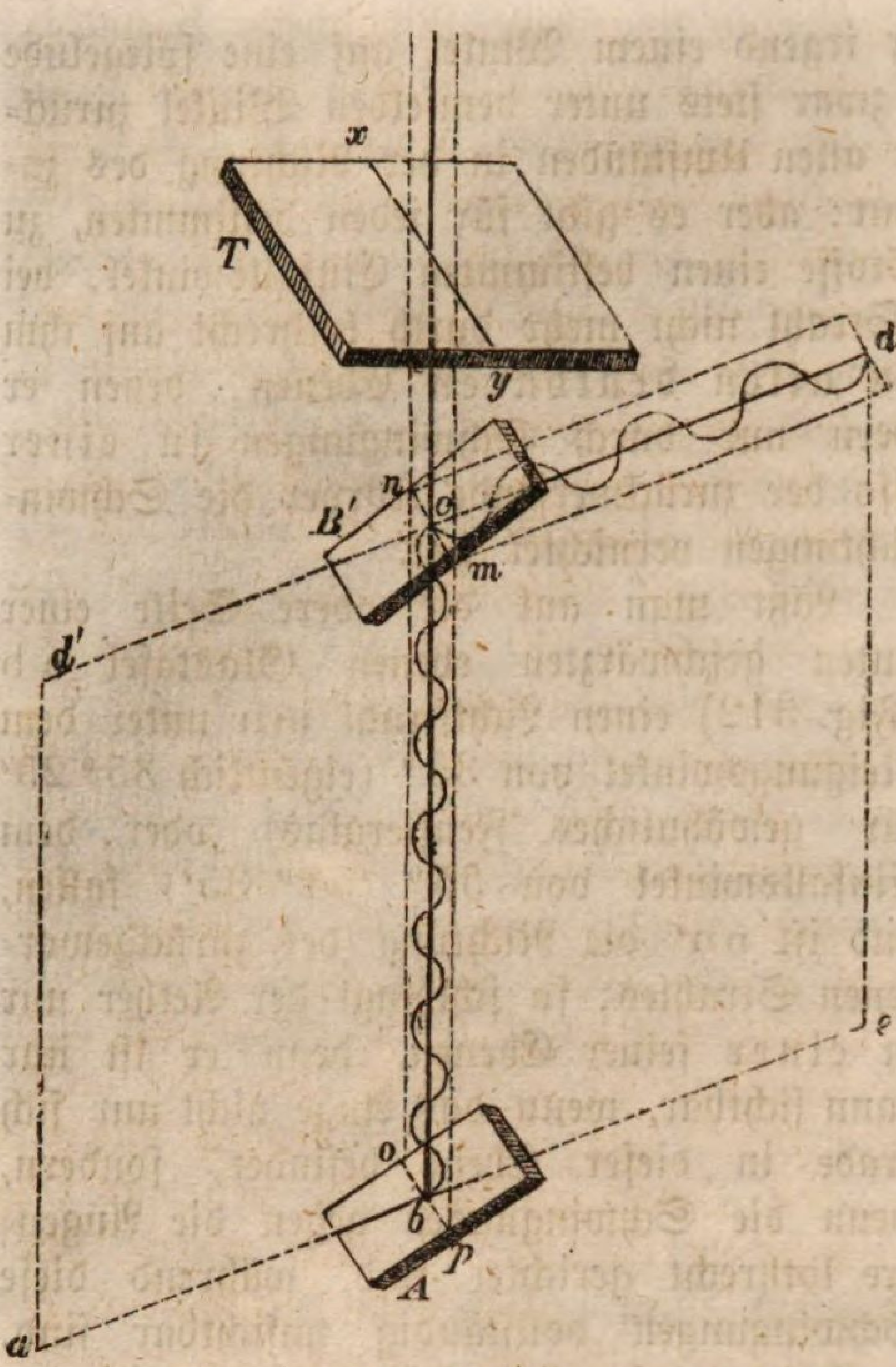
(Fig. 312.)

Läßt man auf die obere Seite einer unten geschwärzten ebenen Glastafel a b (Fig. 312) einen Lichtstrahl mn unter dem Neigungswinkel von 35° (eigentlich 35° 25′ für gewöhnliches Fensterglas) oder dem Einfallswinkel von 55° (54° 35′) fallen, und ist nn′ die Richtung des zurückgeworfenen Strahles; so schwingt der Aether nur in einer seiner Ebenen, denn er ist nur dann sichtbar, wenn das Auge nicht nur sich grade in dieser Ebene befindet, sondern, wenn die Schwingungen gegen die Augenaxe lothrecht gerichtet sind, während diese Schwingungen vollständig unsichtbar sind, wenn sie in der Richtung der Augenaxe stattfinden.

Fängt man nämlich den zurückgeworfenen Strahl nn′ mit einer zweiten oberhalb geschwärzten Glastafel auf und hält sie zunächst der Tafel ab parallel; so wird der auf sie gekommene Strahl unter einem gleichen Winkel nach n′m′ zurückgeworfen und das Auge sieht das Licht. Dreht man aber die zweite Tafel um die Linie nn′ als Axe so, daß ihr Neigungswinkel sowohl gegen sie, als auch gegen n′m′ derselbe bleibt, nämlich 35°; so ist das Licht bei 90° Drehung verschwunden, erscheint bei 180° wieder, verschwindet abermals bei 270° und ist nach vollendeter Drehung wie anfänglich sichtbar. In den Zwischenpunkten findet eine allmählige und abwechselnde Ab- und Zunahme der Lichtstärke statt.

Das durch die erste Tafel, den Polarisationsspiegel, in dieser Weise veränderte und in der Richtung nn′ fortgehende Licht heißt polarisirt und der Einfallswinkel des Strahles mn gegen die erste Tafel der Polarisationswinkel; die zweite Tafel heißt Zerlegungsspiegel (Analyseur).

Der Vorgang bei den Schwingungen läßt sich aus Fig. 313 übersehen. ab ist der auf die erste Platte A fallende Strahl, bc die Richtung des zurückgeworfenen und die zweite hier parallel gezeichnete Platte B unter demselben Winkel treffenden und cd die Richtung des



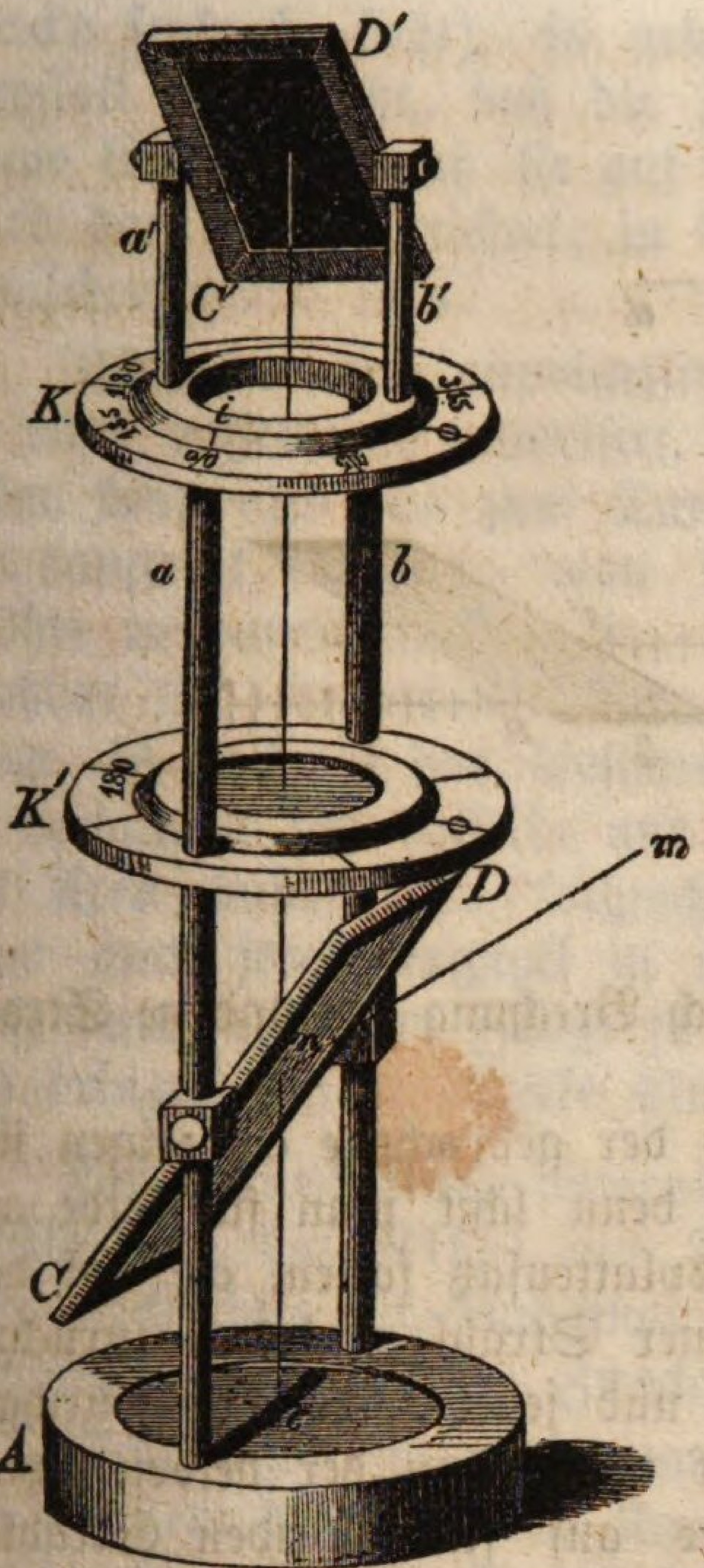
(Fig. 313.)

von der zweiten zurückgeworfenen Strahles; — die Ebene abcd', welche durch den unter dem Polarisationswinkel einfallenden Strahl ab und den polarisirt zurückgeworfenen Strahl bc bestimmt wird, heißt die Einfallsebene. Wird in der polarisirenden Platte A die op lothrecht auf der Einfallsebene angenommen, so ist auch die Ebene mnop auf ihr lothrecht und in ihr allein finden lothrecht auf bc die Aetherschwingungen statt, weshalb sie auch Schwingungsebene heißt. Die Ebene cdeb, welche durch den vom Zerlegungsspiegel zurückgeworfenen und den polarisirten Strahl bestimmt wird, heißt Reflexionsebene oder auch Polarisationsebene.

Ist nun der Zerlegungsspiegel B mit der ersten Platte A parallel, so wirft er die Schwingungen derselben vollständig und so zurück, daß sie auf dem Strahle cd und auf der Polarisationsebene lothrecht geschehen.

Die Einfallsebene abcd' und die Polarisationsebene bcde fallen in eine Ebene oder die eine ist die Erweiterung der anderen; die Schwingungsebene steht auf beiden lothrecht, welches auch der Fall ist, nachdem man B um 180° gedreht hat. Ist die Drehung von B um 90° oder um 270° geschehen, so verschwinden die auf cb lothrechten und nur in der Schwingungsebene geschehenden Schwingungen in der Platte B und geschehen in unwirksamer Weise nur noch in der Richtung des zurückgeworfenen Strahles; es stehen in diesen zwei Fällen die Einfalls- und Polarisationsebene auf einander lothrecht.

Zur bequemen Beobachtung der Polarisationserscheinungen hat man verschiedene Apparate angegeben. Fig. 314 stellt den von Nörrenberg dar. A ist ein runder Fuß, welcher in der Mitte eine spiegelnde Glastafel hat und gegen den Rand zwei Ständer a und b trägt; am Ende des ersten Drittels derselben ist um eine horizontale Axe drehbar die geschliffene Glastafel CD, am Ende des zweiten und letzten Drittels



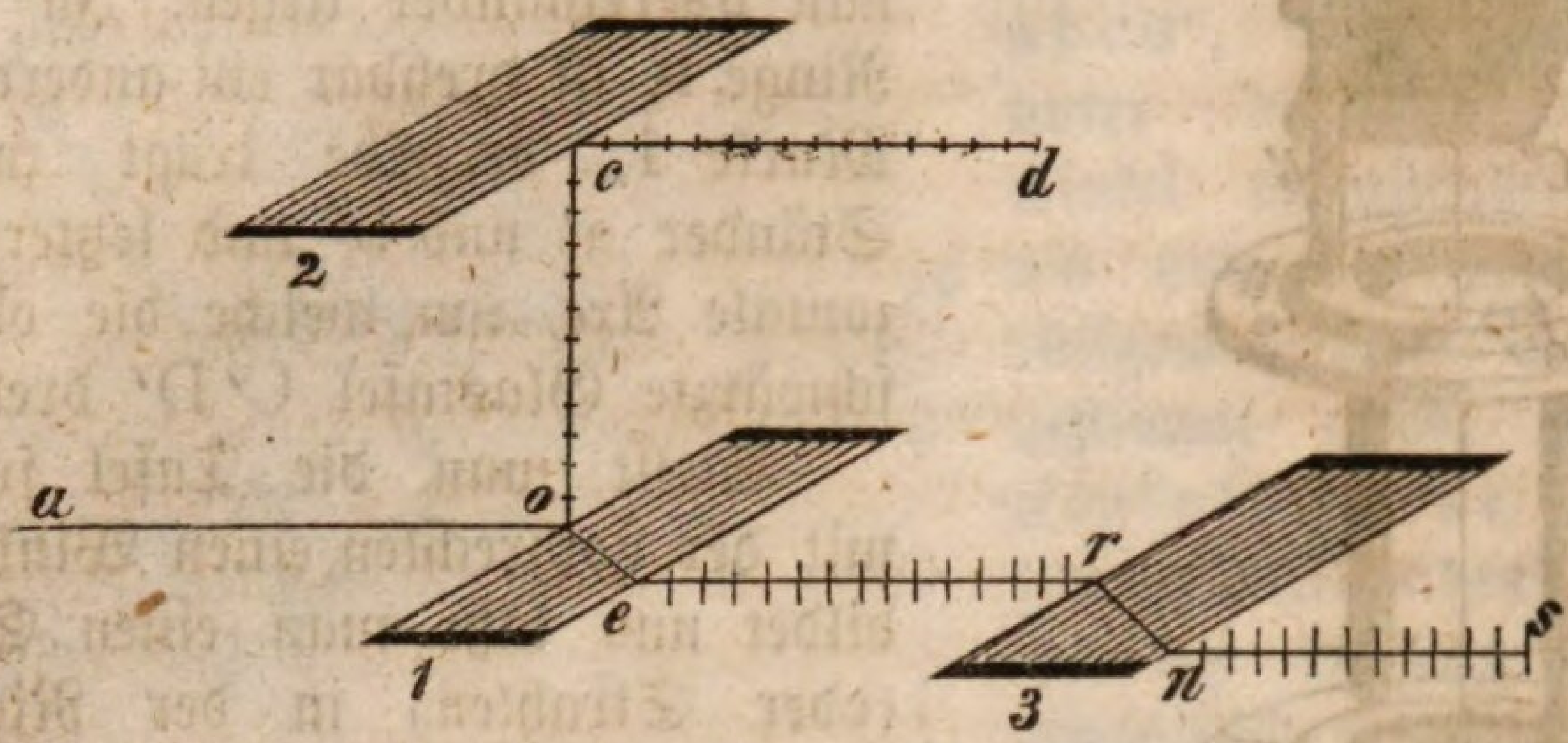
(Fig. 314.)

je eine eingetheilte Ringscheibe K und K' so angebracht, daß deren Nullpunkte genau übereinander liegen. In dem oberen Ringe K ist drehbar ein anderer mit einer Marke i, derselbe trägt zwei kürzere Ständer a' und b' und letztere eine horizontale Axe, um welche die oberhalb geschwärzte Glastafel C'D' drehbar ist.

Stellt man die Tafel so, daß sie mit der Lothrechten einen Winkel von 35° bildet und läßt man einen Strahl mn (oder Strahlen) in der Richtung des Polarisationswinkels (Einfallswinkel 55°) auf CD gelangen, so wird er lothrecht nach mc und von c aus in derselben Richtung zurückgeworfen, geht durch CD und gelangt nach dem oberen Spiegel C'D' polarisirt unter demselben Winkel, wenn beide parallel sind. Nun kann durch Drehung der oberen Ständer bei unveränderter Lage des auffallenden Strahles dem oberen Spiegel jede beliebige Lage gegeben werden. — Der untere Ring dient dazu, um in ihm verschiedene, das Licht polarisirende Körper anzubringen.

Es ist eine bemerkenswerthe und durchgreifende Thatsache, daß, wenn ein Lichtstrahl, welcher die Oberfläche eines Körpers unter dem Winkel der vollständigen Polarisation trifft und hier theils von dem Körper zurückgeworfen, theils in ihm gebrochen wird, der zurückgeworfene Strahl auf dem gebrochenen lothrecht steht, daß der gebrochene Strahl dann ebenfalls polarisirt ist, daß aber die Polarisationsebene des gebrochenen Strahles auf der des zurückgeworfenen lothrecht steht.

Nimmt man zur besseren Darstellnng der Erscheinung statt einer einfachen Glasscheibe einen Satz von 8 bis 10 Plättchen aus weißem Glase nnd läßt einen Strahl ao (Fig. 315) unter dem Polarisationswinkel auffallen, so wird er theils durch Zurückwerfung nach oc polarisirt und die Schwingungen geschehen, wenn oc lothrecht auf dem Horizonte ist, horizontal, senkrecht auf der Einfallsebene und parallel mit der zurückwerfenden Ebene des ersten Plattensatzes, theils dringt er in das Glas in der Richtung oe und geht von e aus in der Richtung er parallel mit ao weiter, aber die Schwingungen geschehen hier auch nur in einer Ebene und zwar lothrecht auf er und parallel mit der Ein-



(Fig. 315.)

fallsebene aoe, so daß also auch der durch Brechung entstandene Strahl er polarisirt ist.

Der zurückgeworfene Strahl oc und der gebrochene er zeigen sich in ihrem Verhalten grade entgegengesetzt; denn läßt man sie beide auf einen neuen mit dem ersten parallelen Glasplattensatz fallen, oc auf den zweiten, er auf den dritten; so wird jener Strahl nach cd zurückgeworfen, dieser aber nach ns durchgelassen und jener wird nicht durchgelassen, dieser nicht zurückgeworfen. Dreht man jeden der beiden letzten Plattensätze mit Festhaltung der Lage des auf sie fallenden Strahles um 90°, so tritt der umgekehrte Fall ein: beim zweiten Satze ist der zurückgeworfene, beim dritten der gebrochene Strahl verschwunden. Der verschiedene Schwingungszustand in beiden Fällen ist seiner Richtung nach in der Zeichnung durch die in der Ebene des Papiers liegenden, auf er und ns lothrechten Striche einerseits und durch die auf dieser Ebene senkrechten, im Querschnitte als Punkte sich darstellenden Striche auf oc und cd andererseits angegeben.

Polarisation der Krystalle. Ein merkwürdiges Verhalten in Beziehung auf die Polarisation zeigen die Krystalle, namentlich der Turmalin, weil ja bei ihnen eine durch mathematische Gesetze bedingte Anordnung selbst ihrer kleinsten Massentheile stattfindet.

Bei Krystallen nennt man Hauptaxe diejenige durch sie gehende Linie, bei welcher die auf ihr senkrechten Schnittflächen auf eine regelmäßige Weise durch die Oberfläche des Krystalles begränzt werden. Schleift man aus einem Turmaline dünne Plättchen, deren Oberflächen mit der krystallographischen Hauptaxe parallel sind, so können dieselben statt des Zerlegungsspiegels angewendet werden. Wird in dem Apparate Fig. 313 der Zerlegungsspiegel weggenommen und dafür eine Turmalinplatte T so gelegt, daß die Hauptaxe xy mit der Schwingungsebene mnop zusammenfällt (oder daß xy auf der Polarisationsebene

bcde senkrecht steht), so geht das Licht durch die Platte; wird der Krystall so gedreht, daß die Hauptaxe xy grade in der Polarisationsebene liegt (oder daß sie auf der Schwingungsebene senkrecht steht), so wird das Licht vernichtet; in den Zwischenstellungen findet natürlich ein Zwischenzustand statt.

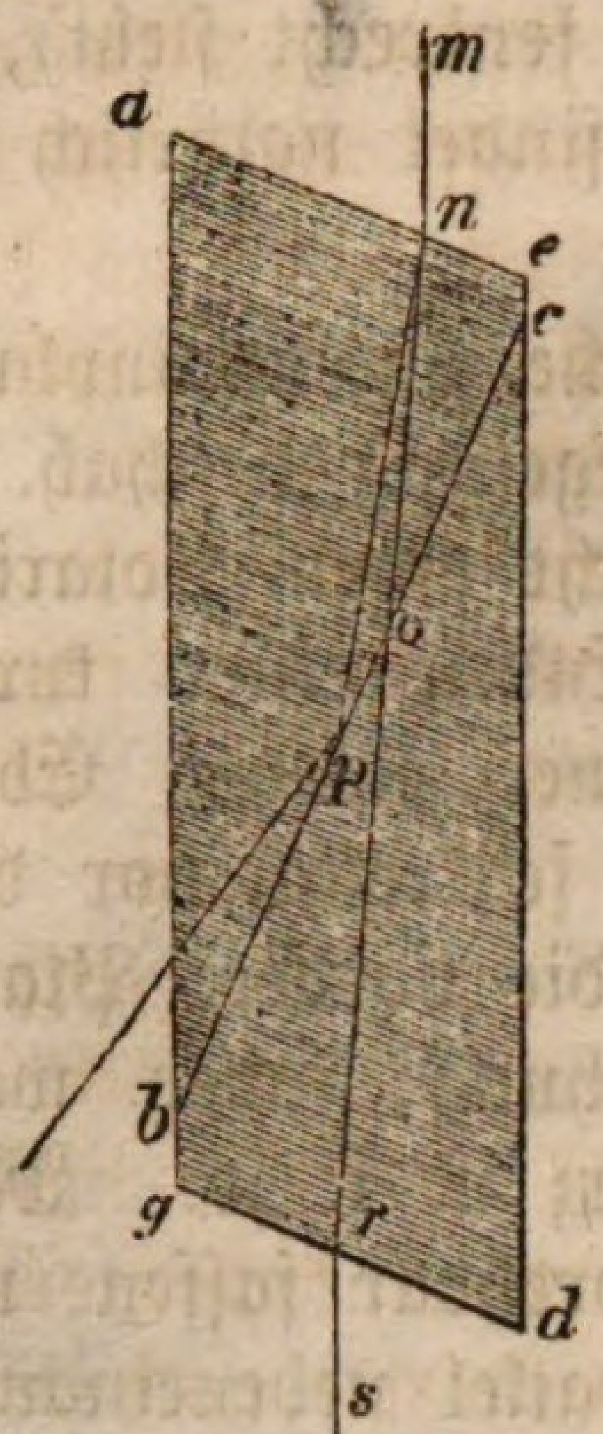
Fällt demnach unpolarisirtes Licht auf eine solche Turmalinplatte, so wird dasselbe so polarisirt, wie es durch die Spiegelung geschah. — Man kann also aus zwei Turmalinplättchen sehr leicht einen Polarisationsapparat erhalten: man befestigt sie an den Enden einer kurzen Röhre in paralleler Lage so, daß das eine in seiner eigenen Ebene drehbar ist. Liegen die Axen der beiden Krystalle senkrecht vor dem Auge, so erscheint das Gesichtsfeld hell; dreht man die vordere Platte, so verdunkelt sich dasselbe und erscheint bei 90° Drehung, oder wenn die Axen aufeinander lothrecht stehen, ganz schwarz u. s. w. Man kann auch jeden Krystall in eine bestimmte Kapsel drehbar fassen und diese durch eine Art Zange so verbinden, daß sie parallel nebeneinander sich bringen lassen. Diese Einrichtung heißt die Turmalinzange.

Weil Turmaline, namentlich wenn sie recht klar sein sollen, kostspielig sind, hat Nikol aus Doppelspathkrystallen, welche man meist sehr durchsichtig hat, eine sinnreiche Vorrichtung erdacht, welche bei Untersuchungen zu technischen Zwecken vielfache Anwendung findet.

Schneidet man aus einem Kalkspathkrystalle ein dreiseitiges Prisma, bei welchem die brechende Kante parallel mit der Hauptaxe ist, so zeigt ein durchgegangener Strahl sich doppelt. Der am stärksten gebrochene behält seinen Brechungsquotienten auch für andere Formen des Krystalles und heißt der ordentliche Strahl; der andere aber, der außerordentliche, ändert seine Brechungsrichtung je nach der Lage: er fällt mit jenem zusammen, wenn das Licht grade in der Richtung der Axe durch den Krystall geht; er entfernt sich von ihm am weitesten, wenn das Licht senkrecht zur Hauptaxe durch den Krystall geht.

Beide Strahlen sind polarisirt; denn hält man zwischen den die zwei Bilder zeigenden Kalkspath und das Auge eine Turmalinplatte, so wird bei deren Drehung abwechselnd das eine der beiden Bilder heller, das andere dunkler, bis eines von ihnen verschwindet, während das andere am hellsten erscheint. — Nur ein Bild entsteht dann, wenn die Axe der Turmalinplatte entweder senkrecht oder parallel zur brechenden Kante des Kalkspaths steht. Weil aber die Turmalinplatte nur solche Strahlen durchläßt, deren Schwingungsebene mit ihrer Axe zusammenfällt, solche aber nicht, die auf ihr senkrecht stehen, so müssen die Schwingungen der beiden durch den Kalkspath gegangenen Strahlen selbst aufeinander senkrecht stehen, wobei die des ordinären Strahles lothrecht zur optischen Axe, die des extraordinären parallel zu ihr erfolgen. Aus diesen Gründen läßt sich ein Kalkspathkrystall sowohl als Polarisations-,

als auch als Zerlegungsspiegel verwenden, wenn man das störende außerordentliche Bild beseitigt.



(Fig. 316.)

In Fig. 316 ist der Querschnitt aedg eines Prismas dargestellt, bei welchem die Flächen so abgeschliffen sind, daß die Winkel a und d nur 68° statt der natürlichen 70° betragen; sodann ist der Krystall durch eine Ebene bc zerschnitten, die Schnittflächen sind gut polirt und die Theile durch Kanadabalsam wieder zusammen gekittet.

Fällt nun ein Lichtstrahl mn auf die Fläche ae, so wird er im Krystalle nach np und no gebrochen. Die Schnittfläche bc hat aber grade eine solche Lage, daß der ordentliche Strahl np an ihr eine gänzliche Zurückwerfung erfährt und nur der außerordentliche in unveränderter Richtung or fortgeht und bei r nach rs, welches mit mn parallel ist, polarisirt austritt.

Wird dieser Krystall mittelst Kork in eine Messinghülse gefaßt, so bietet dieser Nikol einen höchst bequemen Polarisationsapparat dar.

Wenn eine vor das Auge gehaltene Turmalinplatte einen polarisirten Strahl in seiner größten Lichtstärke zeigt und man läßt ihn dann durch eine senkrecht zur Axe geschliffene Platte aus Bergkrystall gehen, so ist er verschwunden und zeigt sich erst dann und zwar mit allmähliger Entwickelung der prismatischen Farben von Roth zum Violett, wenn man den Turmalin nach rechts dreht. Bei manchen anderen Krystallen muß man ihn nach links drehen. Diese Erscheinung nennt man die Zirkularpolarisation.

Durch die erwähnten Mittel findet man, daß das Licht des heiteren Himmels polarisirt ist in einer Ebene, in welcher der beobachtete Punkt am Himmel, z. B. der Polarstern, das Auge des Beobachters und der Mittelpunkt der Sonne liegt, selbst wenn sie unter dem Horizonte ist. Ist also der Polarstern sichtbar, so kann man aus der Lage der Polarisationsebene gegen den durch das Zenith und den Polarstern gehenden Meridian stets die Zeit des Tages angeben. Darauf ist gegründet Wheatstons Polaruhr.

Das von weißen Wolken ausgehende Licht ist nicht polarisirt. — Die Kometen zeigen polarisirtes Licht, also ist es von ihnen zurückgeworfenes Sonnenlicht, wie das des Mondes und der Planeten. Weil das Mondlicht polarisirt ist, besitzt es nicht die Fähigkeit, in den irdischen Körpern Wärmeschwingungen zu erregen, selbst nicht durch Anwendung von Brenngläsern. — Das von Metallspiegeln zurückgeworfene Licht ist nicht polarisirt, wohl aber das von polirtem Holze, von einem Oel- oder Wasserspiegel.

Der letztere Umstand gestattet uns in den meisten Stellungen nicht in die Tiefe des Wassers zu sehen, wenn das aus ihm kommende Licht nicht polarisirt ist. Hält man aber vor das Auge ein Nikolsches Prisma so, daß sein Hauptschnitt senkrecht zur Reflexionsebene ist, so geht das vom Wasser zurückgeworfene Licht nicht durch, wohl aber das aus dem Wasser hervortretende, man kann somit in dasselbe sehen und Fische, untergesunkene Gegenstände, etwaige Klippen u. a. erkennen.

So wie durch das Nikol der Glanz des Wasserspiegels vertilgt worden ist, kann man auch den die Betrachtung von Bildern störenden Firnißglanz beseitigen, wozu man sich zweier brillenartig gefaßter Nikols bedient.

Die Zirkularpolarisation ist anwendbar zur Prüfung der Beschaffenheit mancher Flüssigkeiten und Säfte, z. B. um den Zuckergehalt im Safte des Rohr- oder Rübenzuckers, des Syrups, der Melasse, in der Milch oder im Harne derjenigen, welche an der Zuckerharnruhr leiden, zu entdecken. Zu den rechts drehenden Flüssigkeiten gehören noch Terpentinöl, Auflösungen von Gummi, Kirschlorbeerwasser; zu den links drehenden Zitronensäure, Auflösungen von Weinsäure, Kampfer, krystallisirter Zucker. Man erkennt also durch die Polarisation die Beschaffenheit und chemische Zusammensetzung von Flüssigkeiten.

Physiologisches in Betreff des Lichtes. Die Wirkungen des Lichtes überhaupt auf die organische Welt sind zu auffallend, als daß nicht schon Jeder darauf aufmerksam geworden wäre. Weniger scheint man die Verschiedenheit der Wirkungen des direkten und des durch Zurückwerfung polarisirten Lichtes gewürdigt zu haben.

Pflanzen und Menschen erbleichen in Kellerräumen, zu welchen das Licht nur wenig dringen kann. Die Pflanzen strecken begierig ihre Arme nach den Lichtstellen aus. Wenn solche im Dunkeln gezogene Schwächlinge an das helle Tageslicht gebracht, noch mehr aber, wenn sie dem unmittelbaren Sonnenlichte ausgesetzt werden, so sterben die Pflanzen häufig ab und Menschen fühlen sich ganz matt. Der sog. Sonnenstich ist besonders bei so erzogenen und gehaltenen Schwächlingen tödlich. Man meint daher gewöhnlich, daß das Sonnenlicht die Menschen schwäche, wie es in der That den Städtebewohnern, welche sich viel in oft dunklen Stuben aufhalten, scheint, wenn sie dann ausnahmsweise im Freien der Sonne sich aussetzen. Aber das Sonnenlicht ist im Gegentheile das vortrefflichste und naturgemäßeste Kräftigungsmittel, welches es gibt. Menschen, welche sich den Sonnenstrahlen viel aussetzen, bedürfen weniger des Schlafes und sind dabei doch noch arbeitsfähiger, als wenn sie die Sonne und ihr Licht überhaupt meiden. Im Finstern lebende Geschöpfe sind stets träge und schlaffüchtig, während die Bewohner der Lüfte munter und flüchtig sind. Man vergleiche den Höhlen bewohnenden Eskimo des sonnenarmen Nordens mit dem die Bambushütte bewohnenden Neger des glühenden Südens! Dort unüber-

windliches Phlegma, hier sprudelnde Lebendigkeit! Unsere Landleute sind im Winter verhältnißmäßig träge und bedürfen zur Stärkung vielen Schlafes. Im Sommer aber muß man staunen, daß diejenigen, welche im Freien arbeiten, trotz einer oft äußerst angestrengten Thätigkeit, wie z. B. in der Erndtezeit, durch nur wenige Stunden Schlaf vollständig gekräftigt sind. Man hat, nachdem man sich der Sonne ausgesetzt hat, ein viel geringeres Bedürfniß zu schlafen. Wahrhaft bewundernswürdig ist die Kraft, Ausdauer und Leistungsfähigkeit der Neger, auf deren Körper die Sonne wegen der Hautfarbe einen noch größeren Einfluß hat. Wenn in unseren geographischen Breiten die Arbeitsleute während der freien Zwischenzeiten am Tage sich in den Schatten legen; so ist dies weniger zu billigen, als wenn sie ihren ganzen Körper der Sonne aussetzen und ihn möglichst senkrecht bescheinen lassen.

Es findet beim Bescheinen durch die Sonne jedenfalls eine Uebertragung der in den Aetherschwingungen liegenden lebendigen Kraft auf den organischen Körper, namentlich auf die Muskeln, statt.

Man sollte bei der Anlage neuer Straßen stets eine solche Richtung wählen, daß die Wohnräume wenigstens während eines großen Theiles des Tages unmittelbares Sonnenlicht erhielten. Selbst für Schlafgemächer ist eine zu große Dunkelheit nachtheilig und stärkt das Bedürfniß zur Verlängerung der Zeit zum Schlafen. Sparsamkeit in der Menge und Größe der Fenster ist also auch nicht angemessen und es kann keine unsinnigere Steuer geben, als die Fenstersteuer, weil durch sie das Licht für die Häuser einer Beschränkung ausgesetzt ist. — Gefängnisse mit wenig Licht sind Anstalten, um Menschen langsam zu morden. Auch in Viehställen sollte man viel weniger sparsam mit dem Lichtgeben sein, namentlich beim Zugviehe.

Weniger auffällig, als der Unterschied des Einflusses zwischen Licht überhaupt und Finsterniß ist der zwischen unmittelbarem und mittelbarem Licht.

In dieser Beziehung sind die Pflanzen, namentlich deren Blüthen, empfindlicher, als die Thiere. Es gibt eine ganze Menge von Pflanzenarten, deren Blüthenkelche sich nur bei einem gewissen Stande der Sonne über dem Horizonte der Sonne gegenüber ausbreiten, so daß also die Aetherschwingungen möglichst parallel zu den Flächen der Blätter sind. Wenn man also die Frage aufwirft: Warum stellen sich die Blüthen und Blätter der Pflanzen so, daß die Sonnenstrahlen möglichst senkrecht auf ihre Oberfläche stehen? so möchte die Antwort lauten: Weil sie durch die Aetherschwingungen so gestellt werden, daß diese mit ihnen parallel laufen, um so von ihnen am wenigsten (bei vollkommen paralleler Lage gar nicht) gestoßen zu werden; sie sind der Stoßrichtung ausgewichen, wenn sie sich parallel mit den Schwingungen gestellt haben.

Wenn sich die Pflanzen nachmittags oder abends, wie man zu sagen pflegt, schlafen legen, wobei viele Akazienarten die vorher ausge-

breiteten Blätter herabsenken und zusammenlegen, so ist das Sonnenlicht mehr polarisirt. Es dürfte wohl kaum zu bezweifeln sein, daß das polarisirte Licht auch auf das thierische Leben von Einfluß sein muß; was wir mehr und mehr erkennen werden, wenn wir uns bemühen, der Natur in ihrem geräuschlosen Wirken die Geheimnisse abzulauschen. Das durch Zurückwerfung polarisirte Licht ist also wohl auch dem Wohlbefinden der Menschen weniger zuträglich, als das unmittelbare.

Die strahlende Wärme erfährt zwar auch eine Polarisation; weil aber die dahin einschlagenden Betrachtungen keine Verwerthung zu praktischen Zwecken zulassen, so übergehen wir sie in diesem mehr für das bürgerliche Leben bestimmten Buche.

Sechster Abschnitt.

Beugung der Wellen.

Wenn eine fortschreitende Welle eine Wand mit einer kleinen Oeffnung trifft, so wird diese durch den Eintritt eines kleinen Theiles eines Wellenberges, also eines Wellenhügels, der Mittelpunkt eines neuen Wellensystems jenseits der Wand; ist die Oeffnung aber größer, so geht der mittelste Theil der Welle ungestört durch und setzt sich jenseits fort, außerdem aber bilden sich an den Rändern durch die Stauung neue Wellensysteme, zu welchen die Gränzpunkte an den Rändern die Mittelpunkte sind.

Es ist aus früheren Betrachtungen klar, daß im zweiten Falle aus den zwei neuen Wellenzügen Interferenz- und Koinzidenzerscheinungen sich bilden müssen.

Geht also durch die Oeffnung die Kreiswelle eines Wasserspiegels, so kommen jenseits derselben Stellen vor, in welchen auf die Thäler des einen Systems die Berge des anderen fallen und andere, in denen Berg mit Berg, Thal mit Thal zusammentrifft. Auf diese Weise verbreitet sich die Wellenbewegung zu beiden Seiten der Oeffnung jenseits der Wand in einer größeren Breite fort, als es der Durchmesser der Oeffnung angibt.

Man sieht also bei den Kreiswellen des Wasserspiegels hinter der Oeffnung nach beiden Seiten auswärts gerichtete, gewissermaßen gebeugte Fortsetzungen der Strahlen; man hört bei den kugelförmigen Schallwellen auch seitwärts von der Oeffnung oder um die Ecke und zwar tiefe Töne mit ihren breiten Wellen besser, als hohe, abgesehen davon, daß vielleicht auch die Wand den Schall fortleiten kann, aber

Interferenz kann beim Schalle wegen zu großer Weite des Gehörganges und der zu großen Breite der Wellen niemals eintreten; man sieht endlich auf einer das durchgegangene Licht auffangenden vorgehaltenen Wand eine umfangreichere Erleuchtung, als sie die Oeffnung zulassen würde, wenn die Lichtstrahlen nur in grader Richtung an den Gränzen der Oeffnung vorüber und durchgingen.

Bei der Beugung der Kreiswellen sind Adhäsion, Kohäsion, Reibung, Stoß und Gewicht der Flüssigkeit zu berücksichtigen; bei der von den Schall- und Lichtwellen noch die Elastizität

Wenn man in die Durchgangsöffnung einen schmalen Gegenstand hält, so wird die Erscheinung noch etwas zusammengesetzter. Es sind zwei Oeffnungen und die Wirbel und Interferenzen sind in den beiden Fällen einander entgegengesetzt. Es bieten in dieser Beziehung besonders die Lichtwellen eine Reihe der interessantesten Erscheinungen dar, von welchen wir Einiges anführen wollen.

Wir lassen zunächst jede von den sieben einfachen Farben, welche wir durch das Prisma erhalten, einzeln entweder durch eine feine Oeffnung in einem Staniolstreifen oder durch den feinen Spalt zwischen zwei Schneiden (Diffraktionsschneiden) lothrecht gehen und fangen das Bild in einer Entfernung von 6 bis 10 Fuß auf. In jedem Falle trägt das Bild in seiner Mitte die betreffende Farbe und zu beiden Seiten in gewissen Abständen abwechselnd helle und dunkle Streifen, welche beim Roth am breitesten sind und nach dem Violett hin immer schmaler werden.

Für die hellen Streifen ist der Gangunterschied der von zwei entgegengesetzt liegenden Punkten des Spaltes kommenden Wellen ein grades Vielfache der halben Wellenlänge; für die dunklen Streifen ein ungrades Vielfache davon; dort ist Koinzidenz, hier Interferenz. (Vergl. Fig. 271).

Für das violette Licht ist der Abstand der hellen und dunkeln Stellen von der Mitte des Spektrums ungefähr die Hälfte von dem im rothen, was mit der früheren Bemerkung, daß zu Violett fast doppelt so viele Schwingungen (oder halbe Wellenlängen) gehören, als zum Roth, übereinstimmt.

Es läßt sich natürlich auch aus diesem Versuche die Wellenlänge für die einzelnen Farben angeben.

Läßt man nur weißes Sonnenlicht durch den Spalt gehen, so bildet jede seiner Farben ihr eignes Spektrum und alle sieben Spektra würden einander vollkommen decken, wenn sie gleiche Breite hätten, was aber nicht der Fall ist; denn Violett hat das schmalste, Roth das breiteste und daher zeigt das Bild auf den Innenseiten (zu beiden Seiten der weißen Mitte) violett, auf den Außenseiten Roth mit abnehmender Lichtstärke.

Ist der Spalt schief gegen die ankommenden Strahlen, so ist der Gangunterschied der Strahlen zu beiden Seiten desselben verschieden

und die Spektra sind an dem dadurch entstandenen stumpfen Winkel zahlreicher und breiter.

Bringt man in den Spalt eine ganz feine Schneide (selbst auch u. a. eine Stricknadel), so ist der Schatten von ihr breiter, als es bei gradliniger Fortpflanzung des Lichtes zu erwarten stände, hat in der Mitte sogar eine Lichtlinie und außerhalb farbige Ränder, welche beim weißen Lichte auf der inneren Seite roth, auf der äußeren blau, also grade in umgekehrter Ordnung gegen den obigen Fall gefärbt sich zeigen. Die Ränder verschwinden, sowie man das Licht nur an der einen Seite der Schneide vorübergehen läßt, was ein sehr deutliches Zeichen davon ist, daß die Erscheinung nur durch das Zusammenwirken zweier Lichter entsteht.

Die prachtvollsten Farbenerscheinungen zeigen sich aber, wenn man das Licht durch ein feines Drahtgitter, dessen Maschen sehr verschiedene Formen haben können, oder durch eine Gruppe von beliebig geformten gleichmäßigen Oeffnungen, durch zwei unter einem beliebigen Winkel einander kreuzende Stabgitter, durch feine auf einem mit Goldblatt belegten Glase radirte Linien, durch Flor, Mousselin u. dergl. gehen läßt. — Noch mannigfaltiger und schöner werden die Erscheinungen, wenn man mehre leuchtende Punkte durch ein ruhendes oder bewegtes einfaches oder zusammengesetztes Stabgitter betrachtet. Man kann auch zwei oder mehre Farben durchgehen lassen und dadurch erhält man außerordentlich schöne Farbenerscheinungen.

Wenn spiegelnde Flächen gestreift sind, wie man sie u. a. erhält, wenn man die Oberfläche der aus zarten Schichten bestehenden Perlmuttermuschel abschleift, bis sie glänzt; so erscheinen hübsche irisirende oder schillernde Farben, weil auch hier das Licht von verschiedenen, nahe hintereinander liegenden Punkten ausgeht. Werden die Körper mit solchen engen und parallelen Streifen im Sonnenlichte gedreht, so müssen sie alle möglichen Farben spielen. Man hat diese Erscheinung zur Anfertigung der Irisknöpfe (Barton) benutzt. Da auch die Abdrücke derselben auf Siegellack, Blei, Zinn oder Wachs die Farben zeigen, so ist also nur die Gestalt der Oberfläche der Grund davon und nicht die Beschaffenheit des Stoffes. Eben darauf beruht auch das Schillern matter Fensterscheiben, der Flügel mancher Insekten, mancher Seidenzeuge, fein getheilter Maßstäbe u. dergl.

Der sogen. Heiligenschein um den Schatten eines erleuchteten Kopfes auf dichtem Nebel, so wie die Höfe um Sonne und Mond, welche öfters auch gefärbt erscheinen, sind ebenfalls Beugungserscheinungen.

Steht die Sonne nur wenige Grade über dem Horizonte und sieht man im Herbste, wenn die Felder mit feinen Spinnengeweben ganz überzogen sind, auf sie gegen die Sonne, so erscheinen ebenfalls Beugungsfarben; bei Thau sind es in diesem Falle Brechungsfarben. — Will man auf

größere Entfernung deutlicher sehen, so drückt man die beiden Augenlider zusammen oder sieht durch einen Spalt zwischen den Fingern. Wählt man zwei parallel dicht nebeneinander gelegte Messerschneiden, so ist die Deutlichkeit auffallend und hält man dabei den Spalt dem Auge ganz nahe, so erscheint eine große Anzahl dunkler paralleler Linien. Weil hierbei die Strahlen nach der Beugung mehr auseinander gehen, scheinen sie von einem näheren Punkte zu kommen und der Gegenstand erscheint somit vergrößert. (Benutzung zu Brillen?) Selbst wenn man dicht an einem einzelnen Körper vorüber sieht auf einen entfernten Gegenstand, erscheint dieser wegen der Beugung der Strahlen an jenem viel deutlicher.

Siebenter Abschnitt.

Uebertragung von Schwingungen.

Wenn von einem Stoffe Schwingungen ausgehen und sie treffen auf einen neuen Stoff entweder unmittelbar bei der Berührung oder durch einen Zwischenkörper (Uebertragung, Transmission, Wirkung auf die Entfernung), so können sie nicht blos vom neuen Körper zurückgeworfen werden oder durch ihn dringen, sondern sind auch im Stande, den neuen Stoff zu neuen Schwingungen, entweder derselben Art, oder einer neuen Art mit Beibehaltung oder Veränderung der Schwingungszahl anzuregen und somit an ihm gleichartige oder neue verschiedenartige Erscheinungen zu zeigen. So wichtig und interessant die hierher gehörigen Erscheinungen sind, so dunkel sind viele ihrem Wesen nach im Allgemeinen jetzt noch. Ueberall aber ist durchgreifend das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft. Wir wollen uns aber schon jetzt bemühen, durch feststehende Thatsachen in den verschiedenen Fällen eine klare Vorstellung der verschiedenen Vorgänge zu erlangen, wenn auch das rechte Licht erst nach der späteren Erforschung der Einzelnheiten, namentlich in der Elektrizitätslehre, gewonnen werden kann.

Mittheilung. Die Uebertragung ohne Zwischenkörper ist eigentlich eine unmittelbare Mittheilung bei der Berührung der Körper. Sie findet zwar für alle Schwingungsarten und alle Körper statt, diese aber sind in sehr verschiedenem Grade befähigt, sich zu Schwingungen anregen zu lassen, wie wir es zum Theil schon angeführt haben.

Setzt man eine Spieldose auf lose Baumwolle oder Watte, so ist ihr Ton ziemlich dumpf; steht sie auf einem dünnen Brette über einem hohlen Raume, z. B. auf einem Klaviere, so ist der Ton viel klarer

und stärker; denn die Baumwolle läßt sich schwer, das Holz aber leicht zu ebensolchen Tonschwingungen anregen.

Hält man ein Stück heißen Glases an Holz, so wird dieses nur langsam und schwer erwärmt, hält man es aber an Metall, so geht dessen Erwärmung schnell vor sich.

Scheint die Sonne auf einen mit Lampenruß stark geschwärzten Körper, so wird das Licht dadurch fast vollständig gehemmt; scheint sie aber auf eine weiße Glastafel, so geht es ziemlich gut durch.

Scheint die Sonne ferner auf frische Eidechseneier, so werden dieselben selbstleuchtend, was man leicht erkennt, wenn man sie ins Finstere bringt; scheint sie aber auf einen Basaltstein, so wird er dadurch noch nicht leuchtend, wohl aber erwärmt.

Ebenso machen elektrische und magnetische Körper andere bei der Berührung sehr schwer oder leicht ebenfalls elektrisch und magnetisch. So ist es auch in vielen anderen, scheinbar verschiedenartigen Fällen.

Den Grad der Fähigkeit, die einem Körper dargebotenen Schwingungen eines anderen aufzunehmen, nennt man die **Kapazität des Körpers.**

Transmission. Sind zwei Körper räumlich getrennt, so ist eine Uebertragung der Schwingungen nicht anders, als durch einen geeigneten Zwischenkörper oder dazwischen befindlichen Stoff möglich. Dieses gibt die für uns oft so wunderbar scheinenden **Wirkungen auf die Entfernung**, zumal wenn dieser Stoff, wie der Weltäther, sich jeder unmittelbaren sinnlichen Wahrnehmung entzieht. Die Größe und Art der Einwirkung des ersten Körpers auf den zweiten hängt jetzt nicht blos von der Kapazität und Beschaffenheit des zweiten Körpers ab, sondern auch von der des Zwischenkörpers oder **Leiters**. Der Erfolg ist für verschiedene Leiter auch verschieden.

Je öfter die Zwischenkörper abwechseln, desto größer ist für alle Gattungen von Schwingungen die **Abschwächung** der Wirkung auf die Entfernung, welche nur für Stoffe von durchgängig gleicher Beschaffenheit abnimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung zunehmen (Vergl. Bd. I. S. 59). Der Wechsel der Zwischenkörper lenkt die Schwingungen bei den verschiedenen Zurückwerfungen und Brechungen stets von ihrer ursprünglichen Richtung ab.

Wir gehen nun zu einzelnen Schwingungsarten und Wellenbewegungen über.

1. Uebertragung von Schallschwingungen.

Die Schallschwingungen werden von einem Körper eines gewissen Aggregatzustandes auf einen anderen nicht nur desselben, sondern auch eines anderen Zustandes sowohl bei der unmittelbaren Berührung, als auch auf die Entfernung übergetragen; aber in den verschiedenen Fällen mit verschiedenem Erfolge. Der Weltäther ist zur Uebertragung von

Schallschwingungen wegen seiner außerordentlichen Zartheit völlig ungeeignet, wie der Versuch in der luftleer gemachten Glasglocke (Bd. I. S. 243, 15) gezeigt hat.

Die Uebertragung der Schallschwingungen eines festen Körpers, wie die einer tönenden Saite, auf einen luftigen ist am häufigsten.

Um die Schwingungen eines festen Körpers, z. B. eines Stabes, einer tropfbaren Flüssigkeit mitzutheilen, kittet man jenen so an das Gefäß mit der Flüssigkeit, daß er noch etwas aus derselben hervorragt, um ihn durch Anstreichen zum Tönen zu bringen. — Hat man in einer halbkugelförmigen Glasglocke etwas Wasser und streicht sie an ihrem Rande so an, daß sie klar tönt, so sieht man, wie bei der Eintheilung der Glasfläche in Knoten und Bäuche auch die Wasserfläche in wirbelnd schwingende Bewegung mit einer gleichen Eintheilung geräth.

Die Schwingungen des Wassers lassen sich einem elastischen festen und luftigen Körper mittheilen. Um einen im Wasser erregten Schall außerhalb gut zu vernehmen, nimmt man eine nach unten kegelförmig grade oder gekrümmt sich erweiternde Röhre, verschließt die weitere Mündung mit einer elastischen Metallscheibe und bringt diese mit dem Wasserspiegel in Verbindung. Die Schwingungen des Wassers theilen sich der Platte und durch diese der Luft mit, so daß man mit dem Ohre am engen Ende des Rohres den im Wasser hervorgebrachten Schall deutlich wahrnimmt.

Das Zusammenschlagen von Steinen oder das Anschlagen einer im Wasser befindlichen Glocke hört man außerhalb desselben auch ohne besondere Mittel ganz gut. — Umgekehrt wird aber auch der Knall eines in der Luft abgeschossenen Gewehres im Wasser bis zu einer Tiefe von etwa 12 Fuß gehört. — Fische kommen zufolge eines Glockensignals zur Fütterung an die Oberfläche des Wassers. — Die Uebertragung der Schwingungen des Wassers auf die Luft geschieht leichter, als die umgekehrte. Man kann Schläge an die Taucherglocke in einer Tiefe von 30 Fuß noch ganz deutlich in der Luft hören, während ein über dem Wasserspiegel erzeugter Schall im Wasser viel schwerer hörbar ist.

Man kann die beim Tönen der Luft stattfindenden Schwingungen einem tropfbaren Körper, wie dem Wasser, oder einem festen, wie dem Holze, auch in sichtbarer Weise übertragen. Für den ersten Fall spannt man über das Ende einer offenen Orgelpfeife ein Häutchen schwach an und bringt es beim Tönen mit dem Wasser in Verbindung, für den zweiten Fall setzt man den festen Körper mit einem Holzringe in Verbindung, über welchen eine Haut gespannt ist, welche man mit ganz feinem trockenen Sande bestreut.

In Betreff der Fähigkeit der Körper, den Schall fortzuleiten, findet eine sehr große Verschiedenheit statt. Es gibt sehr gute und auch sehr schlechte L e i t e r. Je massiger und elastischer ein Körper ist, desto stärker leitet er im Allgemeinen den Schall, weil das Kraftmoment von

der Masse und der durch die Elastizität begünstigten Geschwindigkeit abhängig ist.

Wird eine angeschlagene Stimmgabel nur in der Luft gehalten, so ist ihr Ton schwach; setzt man sie aber mit dem Stiele auf einen hohlen Kasten oder auf ein Klavier, so ist er bedeutend stärker. — Wird die Stimmgabel auf den Hirnschädel oder auf die Zähne gesetzt, so pflanzen diese festen und sehr elastischen Körpertheile die Schallschwingungen mit fast unerträglicher Stärke unmittelbar zu dem Gehörorgane fort. — Taube können daher die Musik eines Klavieres wohl noch wahrnehmen, wenn sie auf seinen Resonanzboden einen Metallstab stellen und diesen an harte Theile des Kopfes oder ins Ohr bringen. — In den Schachten der Bergwerke und im Minenkriege hört man das Arbeiten auf größere Entfernung. Der Soldat auf Vorposten, der Waidmann, der Wilde legt sein Ohr auf den Erdboden, um die Tritte des Feindes oder des Wildes in großer Entfernung zu vernehmen. — Ein an einem Faden aufgehängter silberner Löffel klingt beim Anschlagen mittelst eines Schlüssels durch die Luft nur schwach; bringt man aber die beiden Fadenenden in die Ohren, so ist der Schall sehr stark.

Eine starke Männerstimme ist in der freien Luft bei Windstille auf etwa 800 Fuß hörbar; der feste und namentlich der gefrorne und somit gleichmäßiger erhärtete Erdboden pflanzt den Schall viel stärker fort. — Das Marschiren von einer Kompagnie Soldaten ist auf hartem Boden bei Nacht auf etwa 2000 Fuß, einer Eskadron Reiterei im Schritte auf 1800 Fuß, im Trabe oder Galopp aber auf 2600 Fuß, schweres Geschütz im Schritte auf 1600 Fuß, im Trabe auf 2400 Fuß vernehmbar. Werden die Räder und Hufe mit Stroh oder Lappen umwickelt, die steinige Straße mit Stroh belegt, so wird der Schall ungemein gedämpft.

In Betreff der Leitungsfähigkeit des Schalles folgen die nach den Längenfasern geschnittenen Holzarten in der Reihe: Tanne, Kampeche, Buxbaum, Eiche, Kirsche, Kastanie; die Metalle: Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Blei; Fäden oder Schnüre: Därme, Haare, Seide, Hanf, Leinen, Wolle, Baumwolle. Marmor leitet nicht gut, wohl aber Glas, so daß uns letzteres z. B. das Straßengeräusch wenig abhält.

Eine wichtige Anwendung von der guten Fortpflanzung und Uebertragung des Schalles durch feste Körper hat man in der Medizin gemacht, denn man kann dadurch sogar das Innere unseres Leibes untersuchen und erforschen, ob die Organe der Brust und der Bauchhöhle sich in einem gesunden Zustande befinden, ob die Lunge verkümmert und unvollständig, ob andere Organe eine krankhafte Anschwellung erlitten u. dergl.

Das ganz einfache Instrument zu dieser Untersuchung, das Stetoskop, besteht nur in einem etwa 1 Fuß langen und 1¼ Zoll dicken Stabe aus recht gleichmäßig beschaffenem Tannenholze, welcher an dem

auf den Leib zu setzenden Ende abgeflacht und an dem anderen, an welches man das Ohr dicht anlegt, in der Richtung der Axe etwas ausgehöhlt ist. Nur durch fleißige Beobachtungen vermag man sich die Fertigkeit anzueignen, aus den verschiedenartigen, durch das Instrument sehr verstärkt aus dem Inneren zu unserem Ohre gelangenden Geräuschen einen sicheren Schluß auf den Zustand der inneren Organe zu machen. Man hat zu dem Stetoskope bisher meist hartes Holz verwendet, aber trockenes Tannenholz dürfte mehr zu empfehlen sein.

Der verschiedene Grad der Leitungsfähigkeit der Körper für Schallschwingungen ist natürlich auch bei der Wirkung auf die Entfernung durch Vermittelung von Zwischenkörpern maßgebend. Dabei suchen die Schwingungen sich in ihrer ursprünglichen Richtung zu erhalten und üben ihre ganze Kraft nur dann aus, wenn der in ihnen liegende Stoß senkrecht auf den getroffenen Flächentheil des zweiten Körpers auftrifft.

Wird eine gläserne oder messingne Klangscheibe mit einer zweiten, in derselben oder in einer parallelen Ebene liegenden durch einen Glas- oder Metallstab verbunden und bringt man auf der einen Scheibe einen Ton recht rein hervor, so gibt auch die andere den Ton und zeigt die zu diesem Tone bei ihr gehörige Klangfigur. Diese Figur ist aber nur dann genau dieselbe, wenn die beiden Scheiben in jeder Beziehung übereinstimmen, so daß die zweite, wenn sie beim selbstständigen Anstreichen den betreffenden Ton gibt, auch dieselbe Figur zeigt. Würden die beiden Scheiben durch einen wollenen, wenn auch dicken Faden verbunden, so bliebe die Erscheinung aus, weil der Faden zur Uebertragung der Schwingungen zu wenig geeignet ist. — Ist die zweite Platte aus ungebranntem Thone, so gibt sie keinen Ton und zeigt auch keine Figur.

Hat man an einem dünnen Faden in einer Glasglocke ein Schlagwerk aufgehängt oder dasselbe auf Watte gesetzt und pumpt man die Luft aus der Glocke, so verschwindet der Schall fast ganz, weil ihm der angemessene Leiter, nämlich die Luft, entzogen worden ist, und der Faden wegen seiner geringen Masse und die Watte wegen der häufigen Unterbrechungen in ihren Massentheilchen zur wirksamen Fortpflanzung der Wellen nicht geeignet sind.

Eine Abschwächung des Schalles findet überhaupt durch alle lockeren und viele Luft enthaltenden Körper statt, wie durch Teppiche, Strohmatten, Pelze, Filzdecken, losen Pappdeckel, Tuch, mit Sägespänen gefüllte Säcke u. dergl. — Man bringt also an einem Fortepiano das Forte hervor, wenn man die Saiten ganz frei und bloß legt; das Piano, wenn man einen Tuch- oder Lederstreifen mäßig andrückt; man dämpft den Ton der Violine durch die zwischen die Saiten geklemmte Sardine, bei Pauken und Trommeln, wenn man sie mit dünnem Florzeuge überkleidet.

Durch feuchte und neblige Luft hört man den Schall auch schwächer, als durch recht trockene; am Tage, im Sommer und in der heißen Zone schwächer, als in der Nacht, im Winter und in der kalten Zone. Am Tage findet nämlich und vorzüglich in warmen Gegenden während der stärkeren Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonne eine fortwährend aufsteigende Luftströmung und ein Zufluß von untenher statt, wodurch die Luft ungleichmäßig elastisch wird, und im Sommer wird überdies durch die zu verschiedenen Höhen hervorragende Pflanzenwelt die Erdoberfläche rauher, als sie es im Winter und in den Polargegenden ist, wo die Schallwellen so häufige Unterbrechungen nicht erfahren. In Polargegenden, wo die Luft wegen ihrer niedrigen Temperatur dichter ist, hat man die menschliche Stimme über die Eisflächen hinweg bis auf 7000 Fuß vernommen und A. v. Humbold vernahm das Getöse der Wasserfälle des Orinoko in der Nacht, wo in der Einöde nichts die Ruhe der Natur unterbrach, wohl dreimal stärker, als am Tage. — Wenn Biot seine Schallversuche an den Wasserleitungen in Paris erst in der Nacht von 1 bis 2 Uhr anstellen konnte, so ist noch zu berücksichtigen, daß das Geräusch einer großen Stadt die Wahrnehmung eines minder kräftigen Schalles oft unmöglich macht.

Die Resonanz. Bei der Uebertragung der Schallschwingungen kommt es aber nicht blos auf die Beschaffenheit des Schallleiters, sondern noch auf den Stoff und das Spannungsverhältniß des anzuregenden Körpers und auf die Richtung an, in welcher die Schwingungen ihn treffen.

Hat der zweite Körper eine solche Spannung seiner Theile, daß er selbstständig denselben Ton geben würde, welchen ein anderer Körper wahrnehmen läßt; so wird er durch diesen auf die Entfernung zum Tönen angeregt, selbst wenn auch nur Luft zwischen ihnen ist. Da er den hervorgebrachten Ton gewissermaßen zurückgibt, so heißt diese Erscheinung Resonanz.

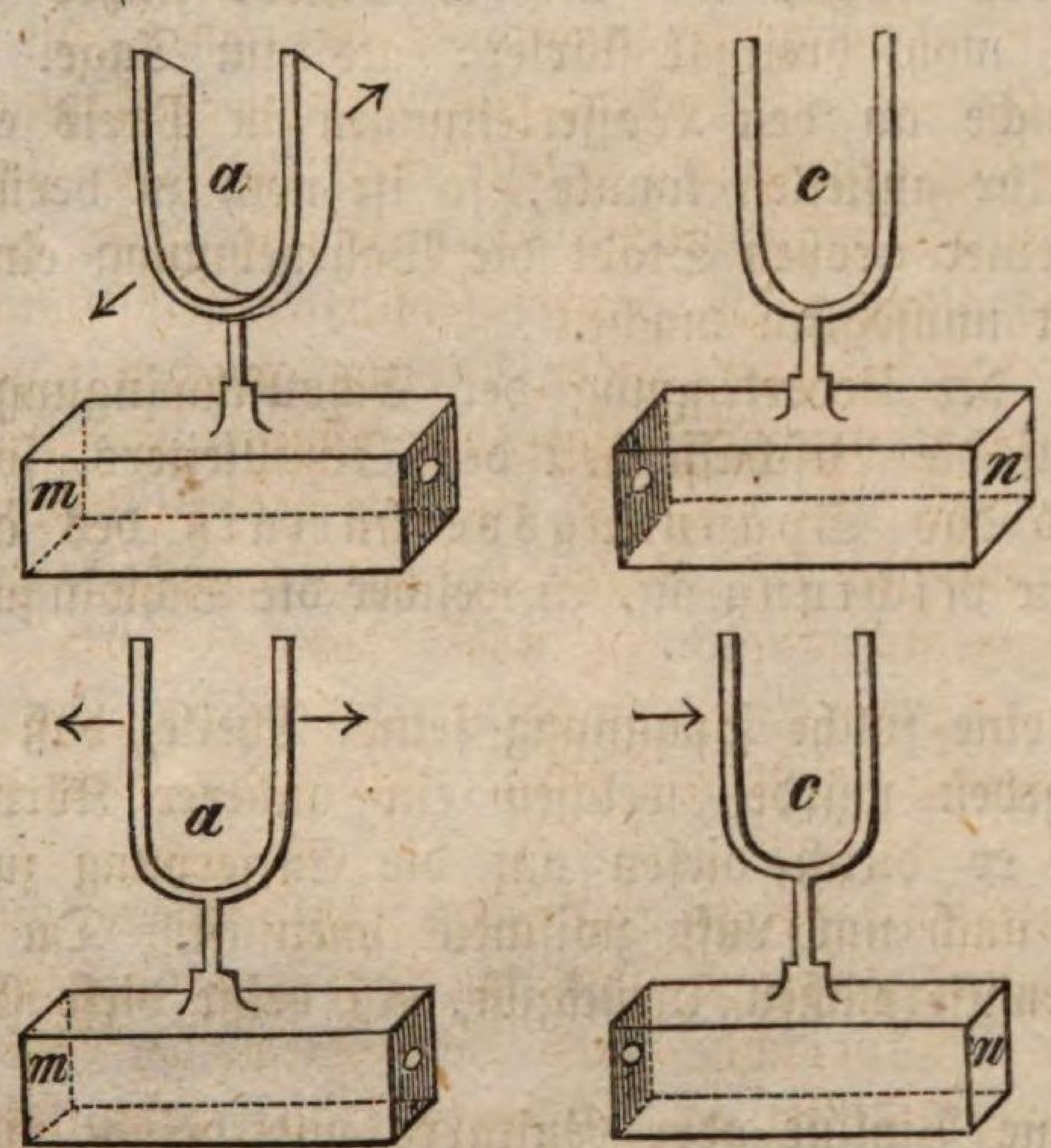
Liegt auf dem Tische eine Violine oder Guitarre und bringt man in einiger Entfernung davon mit einem dergleichen Instrumente oder irgendwie, auch singend, verschiedene Töne hervor, so werden die Saiten jenes Instrumentes sofort mittönen, wenn die ihnen zukommenden Töne hervorgebracht werden und selbst dann noch weitertönen, wenn auch der ursprünglich erregende Ton zu wirken aufgehört hat. Hier trägt also die Luft die Schwingungen des einen Instrumentes auf das andere über. — Auf dieses Mittönen gleichtöniger Saiten kann man sogar eine Methode gründen, ohne besonderes musikalisches Gehör, also ohne die Tonhöhe gut beurtheilen zu können, eine Guitarre gut zu stimmen.

Gibt eine angeblasene Luftsäule, welche sich in einer zylinderförmigen Glasröhre befindet, einen gewissen Ton und bringt man denselben Ton außerhalb dieser Pfeife irgendwie hervor, so tönt auch die Luft in der Pfeife, ohne daß sie selbst angeblasen worden ist und verstärkt somit

jenen Ton; sie hört aber zu tönen sofort auf und tönt nicht weiter, wie es bei der Saite der Fall war, wenn der erregende Ton unterbrochen wird, weil in ihr durch den Druck der äußeren Luft auf sie das Gleichgewicht sofort wieder hergestellt wird.

Bei dieser Anregung zum Mittönen ist in allen Fällen aber auch die Richtung, in welcher der zweite Körper von den Schwingungen des Leiters (des Zwischenkörpers) getroffen wird, wichtig. Nur wenn die Richtung dieser Schwingungen mit der übereinstimmt, in welcher der Körper selbstständig schwingend den Ton erzeugen würde, läßt sich ein kräftiges Mittönen oder Zurücktönen, d. i. eine kräftige Resonanz erwarten.

Jeder Körper sucht in einem zweiten Körper Schwingungen nur in derselben Richtung hervorzubringen.



(Fig. 317.)

Haben wir zwei vollkommen gleichstimmige Stimmgabeln a und c (Fig. 317), welche mit ihren Stielen auf zwei hohlen, nur an dem einen Ende o offenen Kästchen mo und no aufgeschraubt sind, deren Luftsäulen auch denselben Ton vernehmen lassen und stellt man die beiden Gabeln zunächst so, daß die breiten Seiten der einen den schmalen der anderen zugekehrt sind; so wird, nachdem man a durch Anschlagen oder Anstreichen mittelst eines Violinbogens zum Tönen gebracht hat, c kaum irgend vernehmlich mittönen, denn die Richtung der Schwingungen der Zinken von a bilden mit denen von c einen rechten Winkel, wie es die Pfeile andeuten. Stellt man aber beide Gabeln so, daß die breiten Seiten der Zinken beider parallel liegen, wie unterhalb angedeutet ist, so tönt die zweite Gabel sofort ganz stark mit und hört nicht auf, wenn man auch die Schwingungen der ersten Gabel durch das Anfassen hemmt. In diesem Falle stoßen die durch die Luft fortgepflanzten Schwingungen der ersten Gabel lothrecht auf die breiten Flächen der Zinken der anderen Gabel und bringen auf diese Weise sie auch in Schwingungen, obwohl die Luft im Verhältnisse zu Stahl eine außerordentlich geringe Masse hat, nämlich im Verhältnisse der spezifischen

Gewichte eine 6024mal geringere. — Man stellt übrigens in allen Fällen die beiden Kästchen einander in derselben Richtung so gegenüber, daß die beiden Oeffnungen einander zugewendet sind, um das Mittönen der Luftsäulen zu erleichtern und erst, wenn die zweite Gabel auch tönt, kann man die Oeffnung ihres Kästchens dem Ohre des Beobachters zuwenden.

Es ist höchst wichtig, festzuhalten, daß die Schwingungen eines Körpers in einem anderen daran gränzenden ihre Richtung beibehalten wollen, oder daß sie den zweiten Körper zu Schwingungen in derselben Richtung anregen.

Will man die in einer Röhre mit enger Mündung enthaltene Luftsäule durch eine Stimmgabel zum Mittönen anregen, so muß man die flachen Seiten an ihren Enden, wo die Elongationen am weitesten sind, also die Schwingungskraft am größten ist, der Oeffnung gegenüber halten, um nämlich die Luftsäule zu Längenschwingungen anzuregen, die sie beim selbstständigen Tönen macht. — In dem Stiele der Stimmgabel finden bekanntlich Längenschwingungen statt. Stellt man denselben lothrecht auf die ebene Fläche des Resonanzbodens eines Klaviers, so wird dieser zu Querschwingungen angeregt, die er am leichtesten selbstständig auch macht. — Die Saiten der Guitarre oder Violine machen Querschwingungen, welche in der ihnen zunächst liegenden dünnen Holzfläche auch Querschwingungen erzeugen. Ist nun im Innern des Instrumentes ein dünnes Holzstäbchen zwischen der oberen und unteren Decke aufgestellt, so finden in ihm Längenschwingungen statt, welche durch die obere Decke hervorgebracht sind, die aber in dem Boden des Instrumentes wieder zu Querschwingungen werden, durch welche der Ton sehr verstärkt wird.

Fehlt daher dieses Querstäbchen, so hat das Instrument einen schwachen und hohlen Ton; daher heißt es auch die S t i m m e desselben. Man bringt die Stimme der Violine nahe unter dem Stege der Saiten an, weil dieser die Schwingungen derselben besonders kräftig fortpflanzt.

Die Telegraphendrähte werden, wenn sie nicht etwa mit Glatteis belegt sind, durch einen nicht in ihrer Richtung wehenden Wind in nichttönende Querschwingungen versetzt, aber diese gehen in den sie lothrecht stützenden Stangen als Längenschwingungen fort und folgen durch das Zusammenwirken der Schwingungen mehrer Drähte so schnell aufeinander, daß sie zu Tonschwingungen werden. Man hört daher unter diesen Umständen die Telegraphenstangen oft auf weite Entfernungen hin tönen; man ist aber wirklich erstaunt über das innere Molekularleben der Holztheilchen, wenn man das Ohr dicht an eine solche Stange legt. Man kann die Stangen mit den Händen überall anfassen, ohne die Töne im geringsten zu stören, was ein Beweis davon ist, daß die Schwingungen in ihnen ebensogut Längenschwingungen sind, wie in dem Stiele der Stimmgabel, den man ja auch anfaßt, ohne das Tönen zu

hemmen. Eine querschwingende Violinsaite darf man nicht angreifen, wenn man den Ton nicht stören will.

Aus den beiden Umständen, daß die Wirkung der Resonanz dann am günstigsten ist, wenn abgesehen von der nothwendigen Elastizität des mittönenden Körpers die Richtungen der ankommenden Schwingungen möglichst lothrecht auf seine Hauptdimensionen sind und wenn er selbst geneigt ist, falls er selbstständige Schwingungen macht, in derselben Richtung zu schwingen und denselben Ton zu geben, folgen mit Nothwendigkeit die für den Bau von musikalischen Instrumenten zu befolgenden Grundsätze.

Die Saiten eines Klaviers oder einer Harfe schwingen transversal, sie stoßen die Luft in ihrer eigenen Richtung fort und diese Stöße gelangen zu den Holzflächen des Instrumentes, welche aus parallelen Längenfasern zusammengesetzt sind und am leichtesten transversal schwingen. Ist nun, wie beim Klaviere (auch bei der Violine, dem Violon, der Guitarre u. s. w.), die Holzfläche parallel mit den Saiten und ihnen nahe; so ist die Bedingung für das Mitschwingen am günstigsten, zumal wenn nicht nur die tieftönigen langen Fasern unter den langen, die kurzen hochtönigen Fasern unter den kurzen Saiten sich befinden, sondern wenn auch die Fasern mit den über ihnen befindlichen Saiten möglichst gleichstimmig sind. Sind aber, wie bei der Harfe, diese Bedingungen weit weniger erfüllt, so kann auch das Mittönen nicht in so hohem Grade stattfinden und deshalb sind Harfentöne verhältnißmäßig nur schwach oder die Resonanz ist beim Klaviere weit stärker, als bei der Harfe.

Der Stoff des Resonanzbodens hat natürlich einen entschiedenen Einfluß auf die Eigenthümlichkeit oder den Charakter des Tones. Dies zeigt sich recht auffallend nicht nur beim Klaviere, jenachdem man zum Resonanzboden Holz oder Metall verwendet, sondern auch bei dem zu den Blasinstrumenten verwendeten Materiale. Der Ton der Holzinstrumente (Flöte) ist im allgemeinen weich und sanft, der der Metallinstrumente hart und durchdringend und dies auch je nach den Metallkompositionen in verschiedenem Grade. Berühmt war in dieser Beziehung, namentlich in früheren Zeiten, die Hornmusik der Russen, welche man 1 Meile weit hörte. — Der rauschende Ton des Tam-Tam wird nur durch die Eigenthümlichkeit der Metallkomposition und dadurch erreicht, daß es aus Theilen zusammengesetzt ist, in denen die Stärke und Geschwindigkeit des Schalles sehr verschieden ist. Daher die so merkwürdige Erscheinung, daß bei ihm nach einem einmaligen Anschlagen der einige Zeit anhaltende Schall abwechselnd stärker und schwächer wird.

Aus dem Mitschwingen und der Resonanz des Schalles erklären sich noch viele Erscheinungen: z. B. nicht nur die Wirkung eines einzelnen Instrumentes, sondern auch die eines ganzen Orchesters wird verstärkt, wenn es sich auf einem abgesonderten hohlen Fußboden befindet.

Der Eindruck desselben Instrumentes oder derselben Stimme ist in verschiedenen Räumen sehr verschieden. Sind die Wände aus sehr unelastischem Materiale, so ist der Klang ein matter und hohler. — Bei der sogen. Maultrommel gewährt, wie beim Sprechen, die Mundhöhle mit ihren festen und weicheren Theilen (Zähne, der elastische Gaumen) die Vortheile der Resonanz.

2. Uebertragung von Wärmeschwingungen.

Bei der Mittheilung und Uebertragung der Wärmeschwingungen von einem Körper zu einem anderen ohne und mit einem Zwischenkörper zeigen sich ähnliche Verschiedenheiten in der Leichtigkeit und Schnelligkeit der Aufnahme derselben, wie wir sie bei dem Schalle kennen gelernt haben; überdies aber wird eine Veränderung des Volumens und des Aggregatzustandes der Körper hervorgebracht.

Wenn ein Körper eine bestimmte Temperatur oder einen bestimmten Wärmegrad besitzt, so sind seine kleinsten Massentheilchen in einem bestimmten Schwingungszustande, d. h. jedes einzelne vollendet in einer gewissen Zeit eine gewisse Anzahl von Schwingungen mit einer gewissen Weite und demnach liegt in dem Körper eine bestimmte Kraft, welche ein Produkt aus der Masse M und ihrer Temperatur T ist, gleichwie das Kraftmoment eines Körpers (vergl. Bd. I. S. 46) das Produkt seiner Masse und Geschwindigkeit war; denn die Schwingungskraft eines jeden Massentheilchens hängt ja ab von der durch die Schwingungsweite und Schwingungszahl bedingten Geschwindigkeit.

Die Schwingungskraft zweier gleichartigen und gleichen Massentheilchen kann dieselbe sein, wenn auch ihre Schwingungszahlen und Schwingungsweiten verschieden sind, wenn nur zur größeren Schwingungsweite des einen die angemessen kleinere Schwingungszahl gehört. Die Kraft des Stoßes eines aufgehängten Pendels in seinem untersten Punkte kann auch eine bestimmte sein, wenn es das eine Mal eine große Schwingungsweite bei kleiner Schwingungszahl, das andere Mal eine angemessene große Schwingungszahl bei kleiner Schwingungsweite hat.

Sind aber zwei Massentheilchen von verschiedener Art in Schwingungen, so ist ihre Schwingungskraft bei gleicher Geschwindigkeit verschieden und das mit der geringeren Masse wird entweder einer größeren Schwingungszahl oder einer größeren Schwingungsweite oder beides in vergrößertem Maße bedürfen, um dieselbe Schwingungskraft mit dem massigeren zu haben.

Bei der Mittheilung und Uebertragung der Wärmeschwingungen von einem Körper zu einem zweiten kommt aber noch der innere Zusammenhang und die Gestalt der Massentheilchen in Betracht, welche in dem Vorgange theils eine größere oder geringere Verzögerung, theils sogar eine völlige Umwandlung der Bewegungsart und somit

eine vollkommen veränderte Erscheinung hervorbringen können: durch Wärmeschwingungen können Schall, Elektrizität, Magnetismus und auch Licht erzeugt werden.

Wenn Wärme auch wieder nur Wärme erzeugt, so wird doch eine bestimmte Wärmequelle (Wärmekraft) im Stande sein, den einen Körper mehr auszudehnen oder die Schwingungsweite seiner Theilchen zu vergrößern, den anderen mehr zu erwärmen oder die Schwingungszahl zu vermehren, und endlich den Agregatzustand verschiedener Körper mit ungleicher Wärme zu verändern, in allen Fällen also bei verschiedenem Widerstande in verschiedenartigen Körpern das Gleichgewicht herzustellen.

Je mehr Wärme im zweiten Falle ein Körper zu einer bestimmten Temperaturerhöhung bedarf, desto größer ist seine Wärmekapazität. Er wird also auch, wenn er eine große Wärmekapazität besitzt, im Stande sein, durch eine geringe Abnahme seiner Temperatur die eines anderen Körpers mit geringerer Kapazität bedeutender zu erhöhen.

Wir werden nun von diesen drei Fällen zunächst die beiden ersten einer besonderen Betrachtung unterwerfen, während der dritte Fall in der besonderen Wärmelehre behandelt werden soll, weil in ihm Zerstörungen des ursprünglichen Zusammenhanges der Massentheilchen zur Sprache kommen, welche bei anderen Schwingungserscheinungen zwar auch vorkommen, aber in ihren Folgen praktisch weniger wichtig sind. So kann man z. B. ein schnell abgekühltes Glas zertrümmern, wenn man den Ton recht kräftig hineinschreit, den es selbst durch Resonanz gibt; ferner bewirkt das Licht chemische Zersetzungen und durch Elektrizität kann man Gegenstände nicht nur zertrümmern, sondern auch Metalle schmelzen.

Von dem ersten Falle werden wir zunächst nur das erwähnen, was uns als Hilfsmittel für den zweiten und eigentlich hierher gehörigen Fall nothwendig ist. Das Uebrige findet in der besonderen Wärmelehre seinen Platz.

a. Veränderung des Volumens der Körper durch Wärme.

Paßt eine sehr gut abgedrehte eiserne Kugel in einen ebensolchen Ring ganz genau, so daß sie, wenn beide einerlei Wärmegrad besitzen, grade durch ihn geht und erwärmt man dann die Kugel, während der Ring seine Temperatur behält; so geht die Kugel nicht mehr durch den Ring, denn sie hat ein größeres Volumen angenommen, es hat sich also nicht nur die Anzahl der Molekularschwingungen, sondern auch deren Weite vergrößert.

Weil in verschiedenen Körpern der Grad des Zusammenhanges der Massentheilchen ein sehr verschiedener ist, wird dieselbe Wärme in ihnen auch eine verschiedene Ausdehnung hervorbringen und selbst an demselben Körper wird bei gleichmäßiger Zunahme der Wärme seine Ausdehnung

nicht innerhalb aller Gränzen ganz dieselbe sein müssen; denn ist bei zunehmender Wärme der Zusammenhang der Theilchen eines Körpers schon sehr gelockert, so wird eine geringere Wärmevermehrung eine größere Ausdehnung desselben bewirken können, als es bei einer geringeren Wärme desselben Körpers und derselben Wärmevermehrung der Fall war.

Wir können im Allgemeinen aus der zunehmenden Ausdehnung eines Körpers zwar einen Schluß ziehen auf die Zunahme seiner Wärme, aber es muß auch das wichtige Bedürfniß einer genaueren Wärmemessung befriedigt werden; denn unser Gefühl ist ein sehr trügerischer Richter. Kommt z. B. Jemand aus einem sehr kalten, ein Anderer aus einem sehr warmen Raume in ein mäßig geheiztes Zimmer, so wird jener es gemüthlich warm, dieser aber kalt finden. Ja sogar beide Hände sagen gleichzeitig uns das Gegentheil, wenn wir sie in laues Wasser halten, nachdem die eine einige Zeit in ganz kaltem, die andere in ganz warmem gesteckt hatte.

Wärmemessung. Unter allen Körpern ist das Quecksilber ganz vorzüglich geeignet zur Wärmemessung, denn es wird erst bei sehr großer Kälte fest und bei sehr großer Hitze luftig und hat innerhalb einer weiten Gränze bei gleichmäßig zunehmender Wärme auch eine gleichmäßige Ausdehnung. Die Flüssigkeiten vergrößern ihren Raum bei zunehmender Wärme nach allen Richtungen hin gleichmäßig, aber nicht bedeutend. Um daher auch geringere Ausdehnungen noch erkennen zu lassen, setzt man eine fadenförmige Quecksilbersäule in einer engen Glasröhre mit einer in einem kleinen Gefäße (Kugel, Zylinder) eingeschlossenen etwas größeren Quecksilbermenge in Verbindung und bringt an jener eine Eintheilung in gleiche Theile an.

Für die Eintheilung des anzubringenden Maßstabes oder der Skale bedarf man aber zweier Punkte, zu welchen ein ganz bestimmter Wärmegrad gehören muß. In dieser Beziehung ist es wichtig, daß ein bestimmter fester Körper unter übrigens gleichen Umständen stets dann flüssig wird, wenn er eine ganz bestimmte Wärme angenommen hat und daß der erhaltene flüssige auch nur bei einer bestimmten Wärme luftig wird. Dadurch erhält man zwei feste Punkte für die weitere Theilung eines Instrumentes, welches nun ein Wärmemesser oder Thermometer genannt wird, obwohl man damit allein ein bestimmtes absolutes Maß noch nicht gefunden hat.

Zur Anfertigung von Thermometern nimmt man enge Glasröhren von überall genau gleicher Weite (kalibrirte Röhren). Um eine Röhre in dieser Beziehung zu prüfen, bringt man in sie ein kurzes Quecksilbersäulchen, verschiebt dieses langsam durch den Druck einer am Ende festgebundenen Kautschukblase und mißt mit einem feinen Zirkel die Quecksilbersäule überall. Die Röhre ist nur dann brauchbar, wenn die Länge des Quecksilbers stets unverändert bleibt. Würde die Quecksilbersäule an einer Stelle kürzer, so wäre die Röhre daselbst zu weit; würde sie

länger, so wäre die Röhre dort zu eng und in beiden Fällen unbrauchbar. — An das eine Ende der Röhre wird dann eine Kugel geblasen und diese, sowie ein Theil der Röhre mit luftfreiem und reinem Quecksilber gefüllt. Um die in der Röhre noch befindliche Luft herauszutreiben, wird das Quecksilber erhitzt und endlich die Röhre schnell zugeschmolzen. Ehe man aber die Skale machen kann, muß man diese Röhre mit dem Quecksilber noch einige Monate liegen lassen, weil das Glas, namentlich die Kugel, während langer Zeit sich noch verengt.

Die Skale, welche entweder auf die Glasröhre selbst, was am besten ist, oder auf einen Streifen von weißem Milchglase oder auch auf Papier, Holz und dergl. dahinter getragen wird, erhält man auf folgende Weise. Man hält das Instrument bis zu Ende des Quecksilbers in ein Gemenge aus geschabtem Eise (auch Schnee) und destilirtem Wasser, bis das Ende Quecksilbers in der Röhre an einer bestimmten Stelle stehen bleibt, welche man mit Null bezeichnet (vorläufig durch einen feinen Strich mit einem Diamanten). Wie lange noch Eis im Wasser ist, ändert sich der Stand des Quecksilbers in der Röhre nicht. Nun erwärmt man das Wasser; die Quecksilbersäule in der Röhre des darin befindlichen Instrumentes steigt und wenn das Wasser lebhaft kocht, so behält sie in den sich daraus entwickelnden Dämpfen unmittelbar darüber eine ganz bestimmte Länge, und so hat man den zweiten festen Punkt.

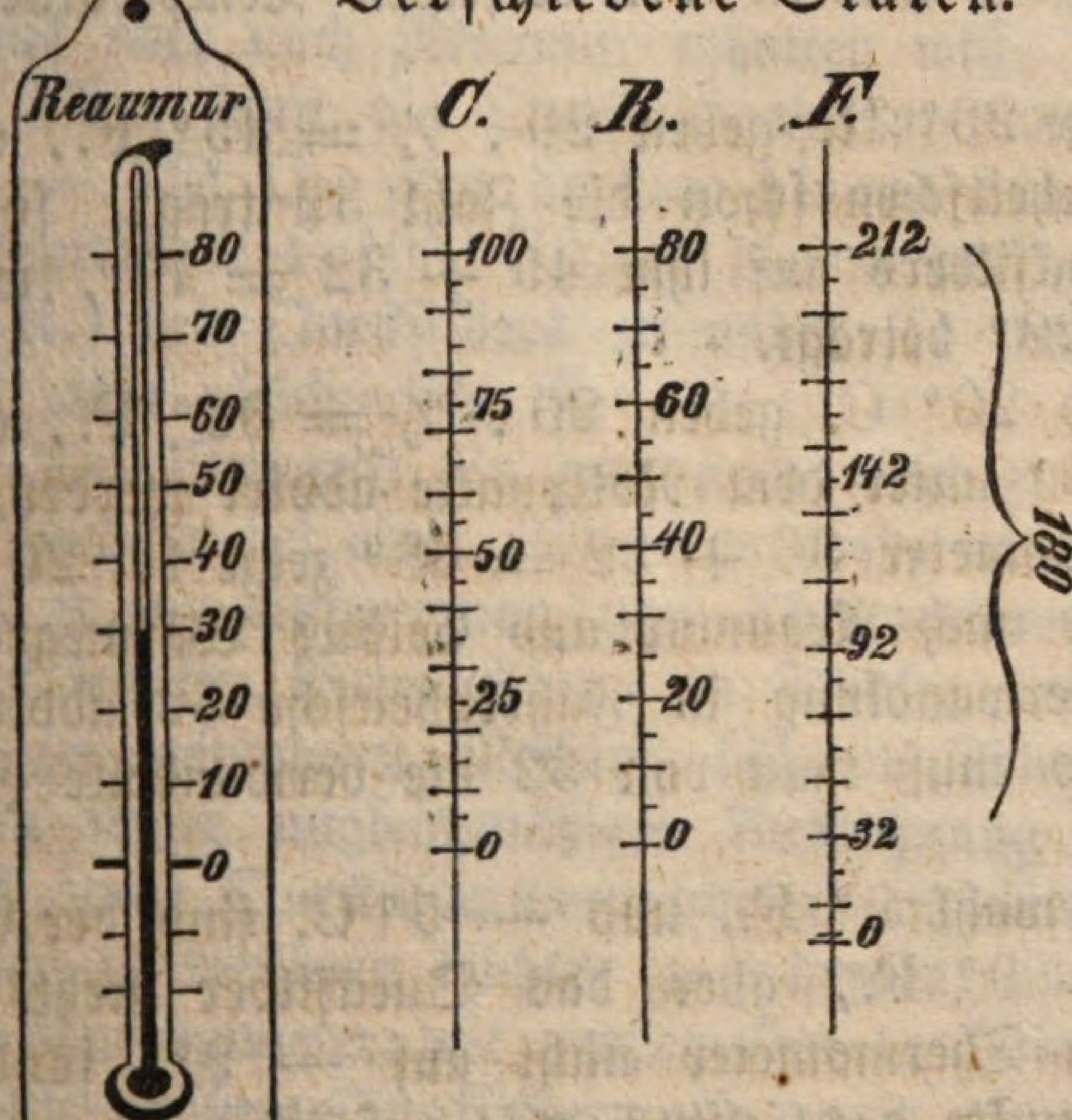
Die Entfernung zwischen jenem Schmelz- und diesem Siedepunkte wird nun in eine beliebige Anzahl gleicher Theile getheilt und solche Theile, welche man Grade nennt, werden noch von beiden Punkten ab- und aufwärts aufgetragen; die ersteren, also unter Null befindlichen, heißen Kältegrade und werden kurz mit — (Minus), die letzteren Wärmegrade, und werden mit + (Plus) bezeichnet, ohne daß wir meinen dürfen, jene Grade bezeichneten einen Mangel an Wärme: sie geben nur einen geringeren Grad von Wärme an, als ihn das schmelzende Eis besitzt. Den Grad der Wärme eines Körpers nennen wir seine Temperatur.

Berücksichtigung des Barometerstandes. Wollen beim Sieden des Wassers die aus ihm sich entwickelnden Dämpfe von der Wasserfläche aus in die Luft übergehen, so muß ihre Druckkraft oder eigentlich Schwingungskraft einwenig größer sein, als die Druckkraft der Atmosphäre. Da uns die Barometerbeobachtungen gelehrt haben, daß der Atmosphärendruck veränderlich ist, so wird auch der Kochpunkt des Wassers nach ihm sich richten; nämlich bei größerem Luftdrucke wird das Wasser mehr erwärmt werden müssen, damit seine Dämpfe aus ihm sich entwickeln können, als bei geringerem. Es ist also bei der Anfertigung der Skale genauer Thermometer und namentlich solcher, mit welchen man von verschiedenen Orten aus vergleichende Beobachtungen anstellen will, durchaus nothwendig, entweder alle Instrumente bei dem-

selben mittleren Luftdrucke, wofür man 76 Zentimeter annimmt, anzufertigen oder, weil dies nur selten statthaft ist, auf dem Thermometer ausdrücklich anzugeben, bei welchem Barometerstande die Skale gemacht worden ist, um für feinere Beobachtungen dann die nöthige Verbesserung und Zurückführung auf einen gemeinschaftichen Luftdruck vorzunehmen, indem ja für einen größeren Luftdruck die Grade zu groß, für einen kleineren zu klein sind.

Endlich ist noch eine andere Vorsicht zu berücksichtigen, um der Skale nicht einen falschen Siedepunkt zu geben. Es ist nämlich ermittelt, daß das Wasser beim Sieden in Metallgefäßen eine höhere Temperatur hat, als in irdenen oder in Glasgefäßen und auch die Dämpfe haben eine etwas größere (0,15°) Wärme. Um also übereinstimmende Siedepunkte zu erhalten, bezeichnet man dieselben nur dann, wenn die Kugel und Röhre nicht in dem Wasser selbst, sondern in den Dämpfen von reinem (entweder aus Schnee gewonnenem oder destilirtem) Wasser sich befinden. Mit fremden Körpern (z. B. Salz) versehenes Wasser hat einen anderen Siedepunkt. Salzwasser, z. B. Meerwasser, hat einen tieferen Gefrierpunkt (wenn dieses zugleich der Schmelzpunkt wäre) und einen höheren Siedepunkt. — Enthält das Wasser Luft, so ist seine Kohäsion geringer und es siedet daher bei einer niedrigeren Temperatur, als möglichst luftfreies Wasser.

Verschiedene Skalen.



(Fig. 318.)

Celsius theilte (Fig. 318) die Entfernung vom Schmelzpunkte bis zum Siedepunkte in 100, Reaumur in 80 und Fahrenheit in 180 gleiche Theile, wobei letzterer am Nullpunkte der beiden ersten die Zahl 32 hatte, weil sein Nullpunkt durch Erzeugung einer größeren Kälte mittelst einer Mischung aus Salz und Schnee erhalten worden war. Wenn auch in wissenschaftlichen Werken jetzt meist die Eintheilung nach Celsius, also die hunderttheiligen oder Zentesimal-Grade gebraucht werden, so sind doch in verschiedenen Ländern noch die anderen Thermometer üblich, in Deutschland namentlich das von Reaumur, in Nordamerika das von Fahrenheit. Es ist also die Angabe zur Verwandlung der Grade des einen Thermometers in die

des anderen so lange noch nothwendig, als die Völker noch nicht durch gemeinschaftliches Uebereinkommen den Gebrauch derselben Skale angenommen haben, was allerdings zur Vermeidung von Rechnungen ganz erwünscht wäre.

Um die Verwandlung der Grade verschiedener Skalen in einander vorzunehmen, dient folgende Ueberlegung.

80° R. geben 100° C. oder 180° F., also 4° R. = 5° C. = 9° F. Daraus ergibt sich, daß

$1° R. = \frac{5}{4}° C. = \frac{9}{4}° F.,$
$1° C. = \frac{4}{5}° R. = \frac{9}{5}° F.$ und
$1° F. = \frac{4}{9}° R. = \frac{5}{9}° C.$ ist.

Da 1° R. = $\frac{5}{4}$° C. sind, so geben z. B. 20° R. in Graden nach Celsius 20 . $\frac{5}{4}$ = 25, oder man muß, um aus Graden nach R. Zentesimalgrade zu erhalten, jene mit $\frac{5}{4}$ multipliziren.

Ferner ist 1° C. = $\frac{4}{5}$° R., aus 20° C. werden also 20 . $\frac{4}{5}$ = 16° R. oder man muß die Anzahl der Zentesimalgrade mit $\frac{4}{5}$ multipliziren, um Grade nach R. zu erhalten.

Für die Fahrenheitschen Grade ist die Verwandlung etwas umständlicher, weil es hier nicht blos darauf ankommt, die Längenausdehnungen der Grade verschiedener Thermometer ineinander zu verwandeln, sondern aus dem Stande des Quecksilbers in dem einen Thermometer den Stand desselben im anderen bei derselben Temperatur zu ermitteln.

1° R. gibt $\frac{9}{4}$° F. und 20° R. geben 20 . $\frac{9}{4}$ = 45° F., aber da der Nullpunkt des Fahrenheitschen schon die Zahl 32 trägt, so ist der wirkliche Stand des Quecksilbers auf ihm 45 + 32 = 77°, wenn der auf dem Reaumurschen 20° beträgt.

1° C. gibt $\frac{9}{5}$° F. und 20° C. geben 20 . $\frac{9}{5}$ = 36° F., aber auch hier müssen noch die 32° unter dem Nullpunkte addirt werden, so daß das Fahrenheitsche Thermometer 36 + 32 = 68° zeigt bei 20°C.

Zeigen die Thermometer nach Reaumur und Celsius Wärmegrade, so muß man nach ihrer Verwandlung in Fahrenheitsche 32 addiren; zeigen sie aber Kältegrade, so muß man von 32 die verwandelte Zahl abziehen.

Es geben z. B. 5° C. wohl 9° F., und — 5° C. sind der Längenausdehnung nach zwar — 9° F., aber das Quecksilber steht für — 5° C. im Fahrenheitschen Thermometer nicht auf — 9°, sondern 9° unter 32 oder dem Nullpunkte des Celsius, also auf 32 — 9 — 21.

Oder — 20° C. geben — 20 . $\frac{9}{5}$ = 36° F. und der Stand bei letzterem ist 32 — 36 = — 4, d. h. 4° unter dem Fahrenheitschen Nullpunkte.

Sollen Fahrenheitsche Grade in andere verwandelt werden, so kommt es darauf an, ob die gegebene Zahl über oder unter 32 und im letzten Falle, ob sie noch über oder unter Null liegt.

Ist die gegebene Zahl größer als 32, so muß man von ihr zunächst 32 abziehen und die erhaltene Zahl für das Thermometer nach Reaumur mit $^4/_9$, für das nach Celsius mit $^5/_9$ multipliziren.

Zeigt z. B. das Fahrenheitsche Thermometer 86 Grade, so steht das Quecksilber 86 — 32 = 54 Fahrenheitsche Grade über dem Nullpunkte der anderen Thermometer. Da nun 1° F. = $^5/_9$° C. sind, so betragen 54° F. in Graden nach Celsius 54 . $^5/_9$ = 30° und in Graden nach Reaumur 54 . $^4/_9$ = 24° Wärme.

Zeigt das Fahrenheitsche Thermometer 14 Grade, so steht das Quecksilber in ihm 32 — 14 = 18 Fahrenheitsche Grade unter dem Nullpunkte der anderen Thermometer; folglich ist der Stand nach Celsius 18 . $^5/_9$ = 10°, und nach Reaumur 18 . $^4/_9$ = 8° Kälte.

Zeigte das Fahrenheitsche Thermometer — 4°, so stände das Quecksilber in ihm 32 + 4 = 36 Fahrenheitsche Grade unter dem Nullpunkte der anderen, was 36 . $^5/_9$ = 20° C. und 36 . $^4/_9$ = 16° R. Kälte gibt.

Man kann also für die Verwandlung der Fahrenheitschen Grade in andere die Regel aufstellen: ist die gegebene Gradezahl größer, als 32, so zieht man 32 von ihr ab; ist sie kleiner als 32, so zieht man sie von 32 ab, und gibt sie Kältegrade an, so addirt man sie zu 32. In allen Fällen wird dann die erhaltene Zahl mit der betreffenden Verhältnißzahl $^5/_9$ oder $^4/_9$ multiplizirt, jenachdem man Grade nach Celsius oder nach Reaumur erhalten will.

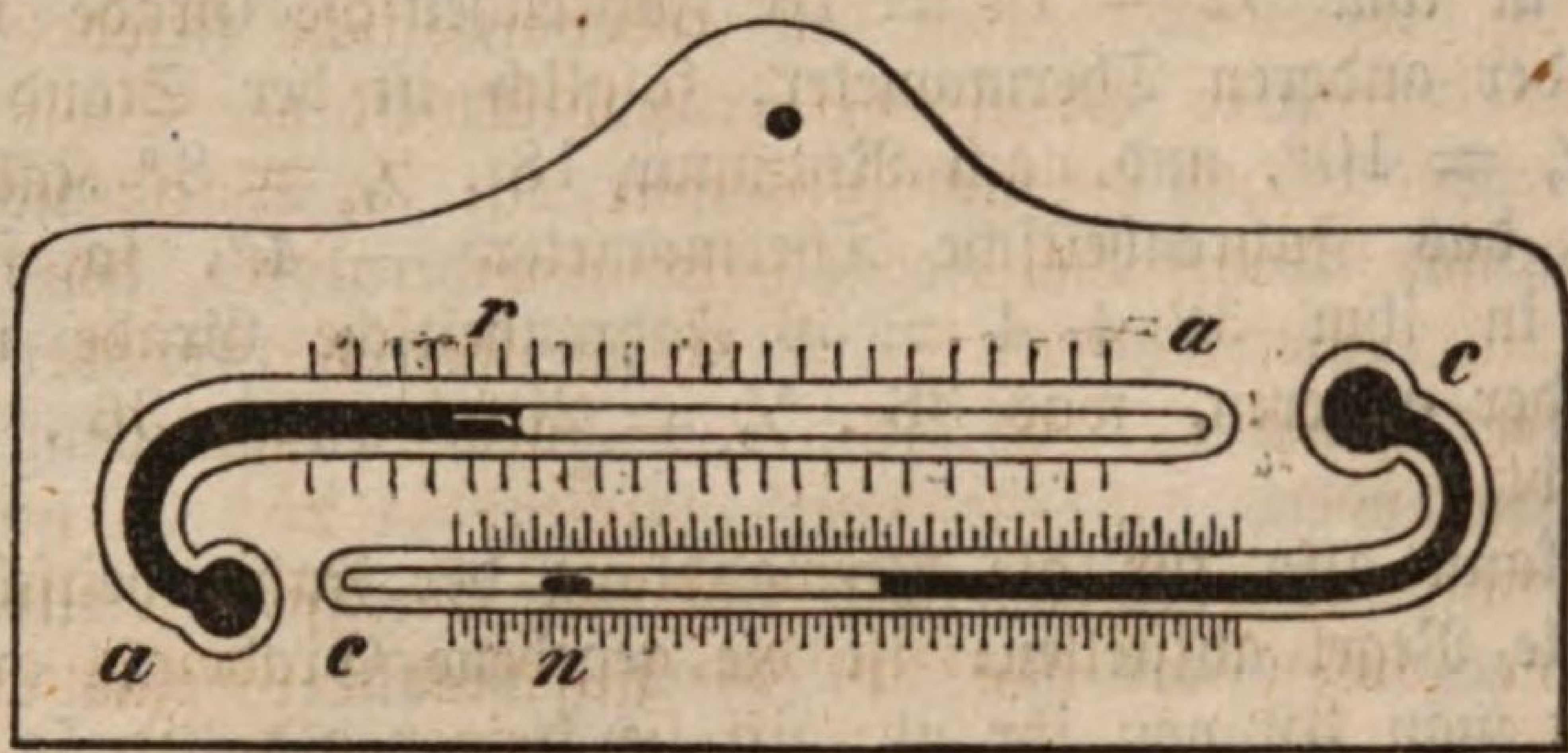
Man kann die Quecksilberthermometer anwenden bis zu + 360 und — 35° C.; aber darüber hinaus kommt man in jenem Falle dem Siedepunkte (+ 400° C.), in diesem dem Gefrierpunkte (— 40° C. = 32° R.) des Quecksilbers zu nahe, so daß die Ausdehnung desselben nicht mehr gleichmäßig ist.

Da Weingeist bis jetzt noch nicht zum Gefrieren gebracht worden ist, sondern bei einer Kälte von mehr als 90° nur zähflüssig wird, so dient er zur Anfertigung von Thermometern für große Kälte. Wegen seiner leichten Verwandlung in Dünste bei zunehmender Wärme ist er aber zur genaueren Messung höherer Temperaturen nicht geeignet und wegen seiner ungleichmäßigen Ausdehnung muß seine Skale nach der eines guten Quecksilberthermometers regulirt werden. Um ihn in den weißen Glasröhren leichter zu erkennen, ist er mit Karmin gefärbt.

Thermometer mit großen Kugeln haben einen trägen Gang, weil sich die größere Quecksilbermasse darin nicht so schnell gleichmäßig durchwärmt, wie in einer kleineren; wenn sie aber eine enge Röhre besitzen, so sind die Gradabtheilungen länger, als in einer weiten und man kann leichter kleine Unterabtheilungen ablesen. Man hat demzufolge Thermometer angefertigt, auf denen man noch 0,01 eines Fahrenheitschen Grades ablesen konnte. — Recht empfindliche Thermometer, welche jeden Temperaturwechsel schnell anzeigen sollen, müssen eine kleine

Kugel und natürlich auch eine enge Röhre haben. — Sogenannte Liebesthermometer.

Es ist für manche Zwecke erwünscht, die höchste und niedrigste Temperatur, welche in einer gewissen Zeit, z. B. an einem Tage, oder an einem gewissen Orte, z. B. in einem Raume zur Malzbereitung, stattgefunden haben, zu wissen, ohne daß man die Messung selbst grade zu dieser Zeit vornimmt. Zu diesem Zwecke dient ein horizontal liegendes Doppelthermometer, der Thermometrograph oder das Maximum- und Minimumthermometer (Fig. 319), von denen das eine cc



(Fig. 319.)

Quecksilber, das andere aa Weingeist enthält. Auf jenem schwimmt ein etwas hervorragendes Zylinderchen n aus Stahl, in diesem ein hohles r aus Glas mit einem kleinen Knöpfchen, welches grade noch untertaucht.

Das Quecksilber nimmt bei seiner Ausdehnung das Zylinderchen zwar mit fort, läßt es aber beim Zusammenziehen liegen, so daß es die Stelle für die höchste Temperatur angibt; der Weingeist nimmt beim Zusammenziehen das Glaskörperchen auch mit fort, weil das Knöpfchen die Gränzfläche der Flüssigkeit wegen ihres etwas größeren Zusammenhanges nicht durchbricht, läßt es aber bei der Ausdehnung an der Stelle der niedrigsten Temperatur liegen, indem der Weingeist an ihm vorübergeht.

Hat man die Beobachtung am Instrumente gemacht, so stellt man die Thermometer lothrecht mit der Quecksilberkugel nach unten, klopft leise daran und die Schwimmer gehen, weil die Thermometer eine entgegengesetzte Lage haben, wieder an die Oberflächen der beiden Flüssigkeiten.

Will man genauere Untersuchungen über die Temperatur der freien Atmosphäre anstellen, so ist die Aufstellung des Thermometers wichtig: es darf nicht an einer Stelle hängen, wohin die Sonne kommt, wenn es auch nicht grade zur Beobachtungszeit ist; denn die Körper haben durch das Bescheinen von der Sonne Wärme angenommen, welche sie längere Zeit der Umgebung, also auch dem Thermometer abgeben; es

darf nicht gegenüber von Gegenständen angebracht werden, auf welche die Sonne scheint, weil es dann durch die strahlende Wärme über die Lufttemperatur erwärmt würde; es darf niemals dicht an der Wand eines bewohnten Hauses hängen, weil ihm sonst von dem Hause Wärme mitgetheilt würde; es darf endlich auch nicht nahe an dem Erdboden hängen, um nicht seinen Temperaturverhältnissen ausgesetzt zu sein. Am besten ist es, wenn man es im Freien an einer stets beschatteten Stelle etwa 5 bis 6 Fuß über dem Erdboden frei aufhängen kann.

Besondere Einrichtungen hat man den Thermometern gegeben, welche zur Messung der Temperaturen des Erdbodens und tiefer Gewässer (in Meeren und artesischen Brunnen) verwendet werden.

Man wendet auch die atmosphärische Luft zur Wärmemessung theils für gewöhnliche, theils für sehr hohe Temperaturen von Feuern an. Instrumente für den letzteren Zweck heißen Feuermesser oder Pyrometer.

Luftthermometer. Man hat durch Vergleichung mit dem Quecksilber gefunden, daß die Luft zwischen — 25° C. und 100° C. eine gleichmäßige Ausdehnung hat wie das Quecksilber und daß zwei Thermometer, von denen das eine durch Quecksilber, das andere durch Luft die Wärme mißt, innerhalb dieser Gränze miteinander genau übereinstimmen, daß aber darüber hinaus das Quecksilber etwas höhere Temperaturen angibt, als die Luft, d. h. daß sich Quecksilber in einem größeren Verhältnisse ausdehnt als Luft, wenn auch beide um gleichviel erwärmt werden. Die Ausdehnung der Luft findet bis zu + 350° der Wärmezunahme verhältnißmäßig statt, so daß also die Luft mehr geeignet ist, als das Quecksilber zur Messung von höheren Wärmegraden.

Man würde aus einem Gefäßbarometer (Bd. I. S. 210) ein Luftthermometer erhalten, wenn man die Oeffnung der Kugel zuschmilzt; weil dann über dem Quecksilber in ihr Luft ist, welche bei der Erwärmung sich ausdehnt, auf das Quecksilber mehr drückt und somit den Quecksilberstand in der langen Röhre erhöht. Setzt man die Luft in der Kugel nacheinander der Temperatur des Null- und der des Siedepunktes aus, so kann man auch leicht die Skale bekommen; aber da das Quecksilber gleichzeitig an den Temperaturveränderungen theilnimmt, so stört es den Einfluß der Ausdehnung der Luft und macht eine etwas umständliche Verbesserung des beobachteten Resultates nothwendig.

Wenn dagegen bei einem Thermometer von der gewöhnlichen Form statt des Quecksilbers in der Kugel und einem Röhrentheile sich Luft befindet und diese nur durch ein Tröpfchen Quecksilber von der äußeren Luft abgesperrt ist, so ist zwar die Ausdehnung des Quecksilbers von geringerem Einflusse, aber hier wirkt der veränderliche äußerliche, durch den Barometerstand angegebene Luftdruck störend und auch hier bedarf die Beobachtung einer Verbesserung, und zwar nach dem mariotteschen Gesetze.

Die Ausdehnung der Luft durch die Wärme wird ferner zur Messung sehr kleiner Wärmeunterschiede angewendet bei den Differenzialthermometern. An eine horizontal gestellte Glasröhre, in deren Mitte sich eine kleine Menge mit Karmin gefärbter Schwefelsäure befindet, schließen sich zwei lothrechte Schenkel mit Kugeln oder Gefäßen von ganz dünnem Glase oder Metalle, welches letztere das Instrument empfindlicher macht. Wird das eine Gefäß wärmer, so geht die Flüssigkeit nach dem anderen hin um so weiter, je größer der Temperaturunterschied ist. Es lassen sich durch Vergleichungen mit anderen Thermometern leicht die nöthigen Eintheilungen vornehmen.

Luftpyrometer. Endlich kann auch die Luft zur Messung sehr hoher Wärmegrade, oder zu Pyrometern verwendet werden. Man versieht ein kugelförmiges hohles Platingefäß mit einer feinen Röhre und setzt es dem Feuer aus, dessen Temperatur bestimmt werden soll. Nachdem die Hitze so viele Luft herausgetrieben hat, als es bei der grade stattfindenden Ausdehnung derselben geschehen muß, wirft man es ins Wasser oder hält die Mündung der Röhre unter Quecksilber und es dringt nun bei der stattfindenden Abkühlung um so mehr Flüssigkeit in das Gefäß, je mehr Luft entwichen oder je heißer der Raum gewesen ist. Aus der verschwundenen Luftmenge läßt sich die vorhanden gewesene Ausdehnung der zurückgebliebenen und ihre Temperatur bestimmen.

Metallthermometer. Man kann auch feste Körper, namentlich Metalle, zur Messung der Wärme verwenden. Die Erfahrung lehrt, daß verschiedene Metalle bei derselben Wärmezunahme in verschiedenem Grade sich ausdehnen; Eisen z. B. weniger als Messing. Nietet man oder walzt man zwei gleichlange Streifen von diesen Metallen aneinander und liegen sie bei einer gewissen und für beide Metalle gleichen Temperatur in grader Richtung, so krümmt sich der Doppelstreifen, wenn die Temperatur sich ändert und zwar so, daß das Eisen bei Zunahme derselben auf der inneren, bei Abnahme auf der äußeren Seite der Krümmung liegt.

Ein Metallthermometer erhält man nach diesen Erfahrungen, wenn man aus zwei sich sehr verschieden ausdehnenden Metallen einen gekrümmten Doppelstreifen anfertigt, das eine Ende desselben befestigt und das andere auf den kurzen Arm eines kleinen Hebels wirken läßt, dessen längerer Arm einen gezahnten Bogen trägt. Wenn nun die Zähne desselben in ein kleines Getriebe eingreifen, dessen Axe einen etwas längeren Zeiger trägt, so wird eine nur geringe Bewegung am freien Ende des Metallstreifens eine sehr deutliche des Zeigers geben und die Bewegungen des letzteren werden die Zu- oder Abnahme der Temperatur anzeigen, deren Höhe man durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer auf dem Instrumente verzeichnet.

Da die Verminderung der Dicke und Vergrößerung der Länge des Streifens die Empfindlichkeit des Instrumentes vermehrt, so hat

Breguet ihn nur $\frac{1}{100}$ Linie dick angefertigt, spiralförmig gekrümmt und das freie Ende mit einem Zeiger versehen, dessen Ende sich über einem eingetheilten Kreise bewegt. Ein solches Instrument ist sehr empfindlich.

Bringt man auf dem Rande der Eintheilung zwei leicht bewegliche Schieber an, welche man zu beiden Seiten dicht an den Zeiger legt, um durch ihn bei der Bewegung sich verschieben zu lassen; so gibt dies einen Thermometrographen.

Metallpyrometer. Auf die Erfahrung gestützt, daß jedes Metall und jede Metalllegirung nur bei einer bestimmten Temperatur aus dem festen Zustande in den tropfbar-flüssigen übergeht, hat man auch Metallpyrometer angefertigt. Nimmt man zwischen dem Schmelzpunkte des Silbers und dem des Goldes 10 Stufen an, so wird man zum Silber 10 Prozent vom Golde und nach und nach immer 10 Prozent mehr zusetzen, um die Zwischenstufen zu erhalten. Werden zwischen Gold und Platin 100 Stufen angenommen, so setzt man nach und nach immer 1 Prozent von letzterem mehr zu. Zu den Versuchen verwendet man nur ganz kleine Kügelchen (wie ein Stecknadelkopf groß) und bekommt die Zahl der Grade durch Vergleichung mit dem früher erwähnten Luftpyrometer.

Wedgwood fertigte Thonzylinder von genau gleicher Größe, setzte sie dem Feuer aus, dessen Hitze er bestimmen wollte, steckte sie, nachdem sie hinreichend lange darin gewesen waren, zwischen die Schenkel eines Winkels aus zwei eingetheilten Metallschienen und schloß aus der Tiefe, bis zu welcher sie hineingingen, auf den Temperaturgrad des Feuers. Der Thon zieht sich nämlich im Feuer um so mehr zusammen, je höher die Temperatur desselben ist, weil er anfänglich das mit Hartnäckigkeit festgehaltene Wasser mehr und mehr verliert und dann noch zusammenfrittet. Große Genauigkeit gewähren diese Pyrometer nicht.

Ein äußerst empfindliches Thermometer, namentlich auch für den Einfluß der strahlenden Wärme, werden wir in der besonderen Elektrizitätslehre kennen lernen.

b. Wärmekapazität.

Nachdem wir von den durch die Wärme hervorgebrachten Ausdehnungserscheinungen, welche eine Folge der Vergrößerung der Schwingungsweite der Molekel sind, nur das für die Wärmemessung Unentbehrlichste angeführt haben, weil nun häufiger Angaben über Temperaturgrade zu machen sind, gehen wir zu den Erscheinungen der Wärmekapazität über.

Wenn in einen bestimmten abgesperrten Raum verschiedenartige Körper mit verschiedener Temperatur gebracht werden, so hat sich nach einer gewissen Zeit die Temperatur aller ausgeglichen: die kälteren sind wärmer, die wärmeren aber kälter geworden, so daß alle bei der

Messung mit einem Thermometer gleiche Wärme zeigen, obwohl z. B. Quecksilber und alle Metalle sich kälter anfühlen, als Wasser, Holz u. a. Körper.

Bei diesem Austausch der Temperaturen tritt sowohl die strahlende Wärme auf, als auch die geleitete. Jene wirkt durch die Luft auf entfernte Körper erwärmend ein, ohne die Luft selbst zu erwärmen und an ihr eine durch das Thermometer erkennbare höhere Temperatur zu zeigen. Hält man einem heißen Ofen einen Papierschirm gegenüber, so schneidet man die Wärmestrahlung ab und dennoch zeigt ein jenseits des Schirmes befindliches Thermometer nach wie vor dieselbe Temperatur. Der Schirm selbst wird aber dabei wärmer. Daß auch hier lockere poröse Körper und solche, bei denen ein öfterer Wechsel des Stoffes vorhanden ist, auf die Verbreitung der Wärme schwächend oder hemmend einwirken oder daß sie schlechte Leiter sind, ist wohl selbstverständlich.

Diese Ausgleichung hängt also wesentlich mit der Leitungsfähigkeit der Körper für die Wärme und mit der Kapazität für das Annehmen und Festhalten der Wärmeschwingungen zusammen.

Man hat vorzüglich drei Methoden, die letztere zu untersuchen: die Mengungs-, die Schmelzungs- und die Abkühlungsmethode.

Wir betrachten zunächst gleichartige Stoffe.

1) Gießt man zu 1 Quart Wasser von 40° Wärme 1 Quart von 20°, so hat das Ganze nach dem Umrühren eine Temperatur von 30°; also das arithmetische Mittel aus den beiden Temperaturen: das erste Quart verliert so viel, als das zweite gewinnt.

Um das Resultat genau zu erhalten, muß man das Gefäß, worin die Vermischung geschieht, vorher schon auf 30° Wärme bringen, besonders, wenn es aus einem gut leitenden Stoffe besteht, widrigenfalls seine Temperatur einen abändernden Einfluß hat.

Sind die Mengen der beiden gleichartigen Körper von verschiedener Temperatur ungleich, so ist zu berücksichtigen, daß die ganze Wärmekraft w eines Körpers das Produkt aus seiner Masse m und Temperatur t, oder $w = mt$, folglich t oder die Temperatur jedes Theiles $= \frac{w}{m}$ ist.

Wenn nun zu 10 Quart von 20°, deren Wärmekraft $10 . 20 = 200$ ist, 15 Quart von 50° mit der Wärmekraft $15 . 50 = 750$ gethan werden; so ist die Summe der Wärmekräfte $10 . 20 + 15 . 25 = 200 + 750 = 950$, welche sich auf die Gesammtmasse $10 + 15 = 25$ gleichmäßig vertheilt. Dividirt man jene Summe 950 mit der Summe der Massen 25, so erhält man 38. Auch hier noch gleichen sich Gewinn und Verlust gleicher Massen aus.

Sind allgemein M und m die Massen, T und t die dazu gehörigen Temperaturen, so ist das Resultat nach der Verbindung $\frac{MT + mt}{M + m}$,

welches vollkommen mit den Bd. I. S. 309 vom Stoße angeführten Betrachtungen übereinstimmt. Verlust und Gewinn an der Temperatur ungleichwarmer Körper bei ihrer Berührung stehen in ähnlicher Beziehung zu den Stoffen wie Verlust und Gewinn an Geschwindigkeit. Es ist in den beiden Fällen wesentlich dasselbe Naturgesetz.

Ein ganz anderes Verhalten zeigt sich, wenn verschiedenartige Stoffe zueinander gethan werden.

Ein Pfund Wasser von 60° und 1 Pfund Leinöl von 90° geben untermengt 70°, also verliert Leinöl 20°, während Wasser nur 10° gewinnt. — Wird 1 Pfund Wasser von 90° zu 1 Pfund Leinöl von 60° gethan, so gibt das 80° im Gemenge, so daß Leinöl 20° gewinnt, während Wasser nur 10° verliert. — Daraus folgt, daß die Wärmekapazität des Wassers doppelt so groß, als die des Leinöls ist.

Ein Pfund Wasser von 20° und 1 Pfund Eisen (vielleicht in Feilspähnen) von 60° geben 24° oder 1 Pfund Wasser von 60° und 1 Pfund Eisen von 20° geben 56°. Also wird Eisen durch dieselbe Wärme 9 mal mehr erwärmt, als Wasser, oder die Kapazität des Wassers ist 9 mal größer, als die des Eisens.

Bei Quecksilber zeigt sich sogar eine 33 mal größere Kapazität des Wassers. Ueberhaupt aber hat das Wasser die größte Wärmekapazität von allen Körpern, weshalb man sie auch als Maßeinheit für die der übrigen Körper angenommen hat.

Diese das Wasser auszeichnende Eigenschaft ist für die Oekonomie des Hauses und der Natur von großer Wichtigkeit.

Gegenstände, welche in der Nähe auch nur von mäßig warmem Wasser sich befinden, sind dem Erfrieren nicht leicht ausgesetzt, weshalb man im Winter in die Keller, in welche der Frost leicht dringt, Gefäße mit Wasser zum Schutze der Vorräthe stellen kann.

Stellte man in abgesperrte Stuben im Sommer bei großer Hitze Gefäße mit kaltem Wasser in der Höhe auf, so würde dies zur Abkühlung der Luft bedeutend beitragen.

Um nämlich 1 Pfund Wasser auch nur um 1 Grad zu erwärmen, müssen 4 Pfund Luft, welche einen Raum von etwa 57 Kubikfußen ($2\frac{1}{4} : 32 . 4$) einnehmen, um 1 Grad sich abkühlen. Demnach werden 26 Pfunde Wasser erforderlich sein, um einen Stubenraum von $26 . 57 = 1482$ Kubikfuß Rauminhalt um 1 Grad kälter zu machen, wenn das Wasser sich auch nur um 1 Grad erwärmt. Stellt man also 26 Pfde. Brunnenwasser von 10° Wärme in eine so große Stube, worin die Luft eine Temperatur von 20° zeigt, so ist nach Ausgleichung der Wärme in dem Raume die Luft nur noch 15° warm.

Davon ließe sich in der heißen Jahreszeit wohl ein praktischer Gebrauch machen, wobei man die Gefäße mit dem Wasser möglichst hoch zu stellen hat, weil die von ihnen abgekühlte Luft herabfällt und die nach oben gehende warme ihre höhere Temperatur fortwährend dem

kälteren Wasser abgeben kann, während, wenn das Gefäß auf den Dielen stände, nur die untersten Luftschichten abgekühlt würden und die oberen eine viel längere Zeit noch warm blieben.

Daß durch Eis, welches man in der Höhe aufstellt, der angegebene Zweck weit vollständiger und schneller erreicht wird, darf wohl kaum erst erwähnt werden. Der bedeutende Erfolg läßt sich aus folgenden Thatsachen ermessen.

Wenn man 1 Pfund Eis von 0° in ein Gefäß mit 45½ Pfund Wasser von 14° bringt, so schmilzt das Eis darin und erniedrigt die Temperatur auf 12°, wobei man den Versuch in einem Zimmer von 12° anstellt, um einen störenden Einfluß zu vermeiden. Um also Eis von 0° in Wasser von 12° zu verwandeln, ist die Wärme von 2° in den 45½ Pfund Wasser oder von 91° in 1 Pfund Wasser nothwendig und um Eis in Wasser nur von 0° zu verwandeln, sind 91 — 12 = 79 Wärmeeinheiten erforderlich, wenn man unter einer Wärmeeinheit diejenige Wärme versteht, welche im Stande ist, 1 Pfund Eis von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln. Es würde demnach auch 1 Pfund Wasser von 79° C. (eigentlich 79,25°) zu 1 Pfund Eis oder Schnee von 0° gethan, Wasser von nur 0° geben.

Auch in dem großen Haushalte der Natur ist die bedeutende Wärmekapazität des Wassers von Nutzen, denn Küstenländer und Inseln haben eine geringere Winterkälte zu ertragen, als die Binnenländer unter derselben geographischen Breite bei gleicher absoluter Höhe. Die gemäßigte Temperatur, welche man das Seeklima nennt, folgt noch aus anderen Gründen, welche wir später werden kennen lernen; für die milde Wintertemperatur liegt der Grund vorzüglich in der großen Wärmekapazität des Wassers.

2) Die Schmelzungsmethode besteht darin, daß man untersucht, wie viel Eis von 0° die verschiedenen Körper von gleichem Gewichte im luftleeren Raume zu schmelzen im Stande sind, wenn sie dabei um gleichviele Wärmegrade abgekühlt werden. Das Verhältniß der dadurch erhaltenen Wassermengen ist auch das der Wärmekapazitäten. Die zu den Versuchen geeignete Vorrichtung heißt der Eiskalorimeter.

3) Die Abkühlungsmethode. Um die Wärmekapazität der Gase zu untersuchen, läßt man sie bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke durch ein Schlangenrohr im Wasser von bestimmter niedriger Temperatur gehen.

Von verschiedenen Gasen werden verschiedene Mengen in verschiedenen Zeiten das Wasser um eine gewisse Anzahl von Graden erwärmen oder verschiedene Gase werden in bestimmter Zeit eine ungleiche Temperaturerhöhung in ihm hervorbringen. In jenem Falle verhalten sich die Wärmekapazitäten der Gase wie umgekehrt die verwendeten

Mengen, in diesem Falle grade wie die durch sie hervorgebrachten Temperaturerhöhungen.

Bedingungen für die Wärmekapazität. Die Wärmekapazität eines bestimmten Körpers wächst mit der Zunahme seiner Temperatur und seines Volumens. Beides läßt sich aus der angenommenen Natur der Wärme erklären.

Hat nämlich ein Körper eine höhere Temperatur angenommen, so hat sich die Schwingungszahl und die Schwingungsweite (vermehrte Ausdehnung), also überhaupt die Schwingungskraft seiner Massentheilchen vergrößert. Sie werden daher und weil sie den Beharrungszustand festhalten wollen, einer neuen Kraft (Zuführung von Wärme) einen größeren Widerstand entgegensetzen, als bei der früheren niedrigeren Temperatur, um selbst eine gewisse Wärmezunahme zu zeigen.

Nimmt ferner eine bestimmte Menge von Massentheilchen bei einer bestimmten Temperatur einen bestimmten Raum ein, so ist jedes Theilchen in einem bestimmten Schwingungszustande, d. h. es macht in einer bestimmten Zeit eine bestimmte Anzahl von Schwingungen mit einer bestimmten Weite. Wird nun denselben Massentheilchen gestattet, einen größeren Raum einzunehmen, so bleibt zwar ihre Schwingungskraft, aber da sich die Weite der Schwingungen vermehrt hat, so muß die Anzahl sich vermindern, welches eine Erniedrigung der Temperatur ist. Soll also bei und trotz der Vergrößerung des Volumens eines Körpers in ihm eine gewisse Wärmezunahme erreicht werden oder soll die durch die Ausdehnung des Körpers bewirkte Verkleinerung der ursprünglichen Schwingungszahl um dieselbe Größe vermehrt werden; so muß ihm mehr Wärme zugeführt werden, als wenn er sein kleineres Volumen mit jener ursprünglichen Schwingungszahl behalten hätte.

Die Zunahme des Volumens eines Körpers, mag sie nun durch Erhöhung seiner Temperatur oder durch Verminderung des auf ihn ausgeübten Druckes hervorgebracht worden sein, ist aber nur so lange mit einer Vergrößerung der Wärmekapazität des Körpers verbunden, **als derselbe seinen Aggregatzustand nicht ändert.**

Es ist wohl an sich klar, daß Verkleinerung des Volumens auch eine Verminderung der Wärmekapazität zur Folge haben muß.

Freie und gebundene Wärme. Man pflegt gewöhnlich zu sagen, daß, wenn ein Körper eines bestimmten Aggregatzustandes veranlaßt wird, sein Volumen zu vergrößern, **Wärme gebunden wird** oder das Gefühl von Kälte entsteht und daß, wenn ein Körper sein Volumen verkleinert, **Wärme frei** und fühlbar (auch meßbar) wird; mir scheinen aber diese Ausdrücke wenig oder gar nicht geeignet, ein klares Licht auf den eigentlichen Vorgang, welcher so außerordentlich oft beobachtet werden kann, zu werfen. Man wird sich folgende Vorstellung zu machen haben.

Wird das Volumen eines Körpers verkleinert, so vermehrt sich die Anzahl und vermindert sich die Weite der Schwingungen; wird das Volumen des Körpers größer, so vermindert sich die Anzahl und vermehrt sich die Weite der Schwingungen. In beiden Fällen bleibt die Schwingungskraft des Ganzen unverändert, im ersten aber wird die Temperatur höher, im zweiten niedriger.

Wenn die atmosphärische Luft von der Erdoberfläche aus in höhere Gegenden steigt, wo sie einem geringeren Drucke ausgesetzt ist, so dehnt sie sich aus und wird kälter. — Soll eine bestimmte Luftmenge eine bestimmte Temperaturerhöhung erfahren, so bedarf sie, wenn sie dasselbe Volumen beibehalten soll, weniger Wärme, als wenn sie unter einem bestimmten Drucke sich frei ausdehnen kann, weil im ersten Falle, also mit Beibehaltung der Schwingungsweite, die Schwingungszahl leichter vermehrt werden kann, als wenn die Weite sich gleichzeitig vergrößert. Wird atmosphärische Luft um 0,1 ihres Volumens zusammengedrückt, so bewirkt dies eine Temperaturerhöhung von 11,5°, bei 0,9 schon 103,5°; zum Anzünden des Schwammes durch Luft im pneumatischen Feuerzeuge ist eine Temperatur von 288° erforderlich.

Dämpfe sind beim Ausströmen kälter als vorher. — Durch das Ausströmen von verdichteter atmosphärischer Luft, welche die Temperatur der Umgebung hat, kann Wasser in Eis verwandelt werden. — Läßt man flüssige Kohlensäure in einen luftleeren kalten Raum als einen dünnen Strahl strömen, so ist die dabei entwickelte Kälte (60°) so groß, daß die Kohlensäure als weißlicher Schnee niederfällt.

Wenn chemische Verbindungen einen kleineren Raum einnehmen, als die Summe der Räume der Mischungsantheile vor der Vereinigung; so entwickelt sich Wärme, welche bisweilen recht bedeutend ist: Wasser mit Alkohol, weit mehr Wasser mit konzentrirter Schwefelsäure. Ebenso, wenn ein flüssiger Körper sich mit einem festen verbindet oder selbst zu einem festen wird: Wasser mit ungelöschtem Kalk.

Daß durch die Verdichtung eines Körpers Wärme erzeugt wird, zeigt sich auch beim Prägen der Metalle zu Münzen, beim Hämmern derselben, beim Feuerschlagen mit Stahl und Stein u. dergl.

Kältemischungen. Wenn chemische Verbindungen einen kleineren Raum einnehmen und wenn tropfbare Körper zu festen werden, zeigt sich Wärme, welche durch das Thermometer angezeigt wird (Wärme wird frei). Wenn dagegen eine Körperverbindung einen größeren Raum einnimmt und wenn feste Körper zu tropfbaren werden, zeigt sich eine durch das Thermometer wahrnehmbare Abkühlung (Wärme wird gebunden). Der letztere Umstand ist es vorzüglich, den man zur künstlichen Erzeugung von Kälte benutzt hat.

Wenn 1 Theil Schnee zu 1 Theil verdünnter Schwefel- oder Salpetersäure gethan wird, so geht die Temperatur von — 7° bis auf etwa — 51° zurück. Werden Salpeter, Glaubersalz, Salmiak u. a. in

Wasser aufgelöst, so sinkt die Temperatur des letzteren. — 1 Theil Kochsalz mit 3 Theilen Schnee von 0° geben — 17°.

Ueberraschend ist die Wahrnehmung, daß etwas kaltes Wasser, welches sich in einer dünnen und flachen Metallschale auf Schnee befindet, zu Eis wird, während der Schnee in einem Metallbecken auf glühenden Kohlen geschmolzen wird. Der Schnee entzieht die ihm zum Schmelzen erforderliche Wärme der ganzen Umgebung, also nicht blos den darunter befindlichen Kohlen, sondern auch dem Wasser darüber.

3. Die Mittheilung und Uebertragung von Lichtschwingungen.

Der gewaltige Verbrennungsprozeß, welcher an der Sonne stattfindet, setzt den absolut elastischen Weltäther in schwingende Bewegung. Wenn nun diese Schwingungen die irdischen Körper, in denen der Weltäther auch vorhanden ist, treffen; so erleiden sie je nach der Beschaffenheit ihres Stoffes und seines Zusammenhanges sehr verschiedenartige Veränderungen. Wenn irdische Körper verbrennen, so gibt dies nicht einen wesentlichen Unterschied.

Diese Veränderungen, von denen wir bereits die Zurückwerfung, Brechung und Beugung kennen gelernt haben, zeigen sich noch in anderen Erscheinungen.

Die Insolation. So wie ein tönender Körper einen anderen entfernten Körper durch einen geeigneten irdischen Zwischenkörper auch zum Mittönen veranlassen kann, ebenso ist ein leuchtender Körper fähig, einen entfernten zweiten Körper durch den jedenfalls dazwischen befindlichen Weltäther zum Mitleuchten zu bringen. In dieser Beziehung ist besonders die Sonne wichtig, welche, wenn sie die irdischen Körper bescheint, den Aether in vielen derselben veranlaßt, leuchtend mitzuschwingen, so daß er selbst dann noch fortschwingt, wenn ihre unmittelbare Einwirkung, welche man Insolation nennt, schon längst aufgehört hat. Es ist grade so, als wenn eine zum Mitschwingen gezwungene Stimmgabel selbst dann noch selbstständig weiter schwingt, wenn man auch die erregende Gabel bereits gehemmt hat; oder wenn ein durch einen zweiten Körper erwärmter Körper seine Wärme nicht sofort verliert, wenn auch die Wärmequelle beseitigt wird.

Flußspath ist in dieser Beziehung ausgezeichnet, indem er nach der Insolation noch wochenlang leuchtend bleibt; der Diamant, weißes Papier, Eierschalen, durchgeglühte Austernschalen und mehre künstlich dargestellte Körper, wie der bologneser Leuchtstein, der kantonsche, der osansche Phosphor. Jener besteht aus kalzinirten Austernschalen, welche in Schichten abwechselnd mit Schwefelblumen in einem Schmelztiegel stark geglüht werden; dieser aus arseniksaurem Baryt, welcher mit Tragant zu Pasten geformt und geglüht wird. Das Präparat von Wach leuchtet sogar unter Wasser und Oel. Weißgebrannte Austernschalen werden nur

dünn mit einer Auflösung von Schwefelarsenik in Ammoniak bestrichen, nach dem Eintrocknen mit Schwefel bestreut und in einem verschlossenen Tiegel ausgeglüht.

Gäbe es Körper, welche die Lichtschwingungen völlig unverändert durchließen, so würden sie vollkommen durchsichtig und für uns unsichtbar sein, und andere Körper in ihrer ganzen Gestalt, Farbe und Beschaffenheit durch sich erkennen lassen.

Gestatten Körper allen Lichtstrahlen von beliebiger Färbung den Durchgang unverändert, so heißen sie wasserhell.

Gäbe es ferner Körper, welche unter allen Umständen gar kein Licht durchließen, sondern dasselbe in sich vernichteten, so wären sie vollkommen undurchsichtig. Körper, welche nur in dünnen Lagen die Spuren der Umrisse anderer Körper erkennen lassen, sind durchscheinende.

Es entspricht kein Körper den beiden ersten Bedingungen, denn selbst die dunstfreie atmosphärische Luft wirft das Licht nach allen Richtungen zurück oder zerstreut es, wodurch, wie wir wissen, die Tageshelle entsteht. Man kann deshalb auf dem Gipfel eines hohen Berges, wo es in der Umgebung keinen das Licht zurückwerfenden Gegenstand gibt, einen Körper am Tage in allen Richtungen, in denen er auch von der Sonne nicht unmittelbar beleuchtet wird, erkennen. Je höher man in die Atmosphäre gelangt, desto weniger wird Licht zerstreut, desto mehr entfernt sich die Farbe des Himmels von dem Hellblauen ins Dunkelblaue und Schwarze, wie es der lichtlose Weltraum zeigt.

Es ist also sehr natürlich, daß die Gestirne um so herrlicher glänzen, auf je höheren Bergen man sie bei heiterer Atmosphäre betrachtet.

Hemmung der Lichtwellen. Auch hier, wie bei den Schall- und Wärmewellen, wird die Uebertragung der Schwingungen durch irdische Körper sehr gehemmt, ja völlig unterbrochen, wenn der Stoff mit anderen Stoffen häufig abwechselt, wie z. B. Glas mit Luft, Luft mit Wasserdünsten, Wasser mit Luft bei schäumendem Wasser. So ist eine weiße Glastafel durchsichtig, wenn man aber dasselbe Glas in kleine Stücken zerschlägt oder pulverisirt, wobei es zwischen den Glastheilchen viele Luft enthält; so ist es völlig undurchsichtig. Matt geschliffenes Glas ist nur durchscheinend. Wenn man in solchen Fällen zu dem festen Körper einen flüssigen thut, welcher beinahe dieselbe lichtbrechende Kraft besitzt, so wird der undurchsichtige durchscheinend oder dieser selbst durchsichtig. Wasser und Oele bewirken dies schon in vielen Fällen, wie wir es bei der Brechung bereits erwähnt haben.

Farbig durchsichtige Körper. Manche Körper lassen von dem weißen Lichte nur eine bestimmte Farbe durch und vernichten die anderen Farben des Weiß und jede andere Farbe, außer der von ihnen durchgelassenen, verändern oder vernichten sie. Solche farbig durchsichtige Körper haben also nur für eine bestimmte Farbe eine Resonanz

oder sie gestatten nach ihrem Spannungsverhältnisse dem Aether nur eine bestimmte Anzahl von Schwingungen. Ein rein rothes Glas ist nur durchsichtig für die rothen und undurchsichtig für die übrigen einfachen Farben: ein weißer Gegenstand erscheint durch dasselbe roth und rothe Strahlen werden bei ihrem Durchgange nur wenig geschwächt. Ebenso gibt es grünes Glas, welches nicht blos grünes, sondern auch gelbes und blaues Licht, die in ihrer Verbindung grün geben, nicht aber rothes durchläßt. Daher geben ein rothes und ein solches grünes Glas, von denen jedes für sich durchsichtig ist, einen für die Strahlen des Tageslichtes völlig undurchsichtigen Körper.

Der elektrische Funke ist durch alle farbigen Gläser in der betreffenden Farbe sichtbar und sogar bei einer undurchsichtigen Zusammenstellung zweier Gläser. Dies scheint eine Bestätigung der früher schon aufgestellten Ansicht zu sein, daß der elektrische Funke eine Erscheinung stehender Schwingungen des Weltäthers ist, welcher alle Körper durchdringt.

Farbig undurchsichtige Körper werfen von dem auf sie fallenden weißen Lichte eben nur die Farbe zurück, in welcher sie uns erscheinen, während sie die übrigen im weißen Lichte enthaltenen vernichten oder sie haben eben nur für diese eine Farbe eine echoartige Resonanz. Werden diese farbigen Körper durch die ihnen eigenthümliche Farbe beleuchtet, so erscheinen sie in einem solchen Lichte viel glänzender.

Die Farben der Körper sind sehr selten einfache. Man erkennt dieses daran, daß man sie durch ein Prisma ansieht: die einfachen Farben zeigen sich unverändert, die zusammengesetzten werden aber in ihre einfachen Farben zerlegt. Grün bleibt entweder Grün oder wird in Blau und Gelb zerlegt. Die zusammengesetzten Farben zeigen also die auf weißem Grunde durch ein Prisma angesehenen Körper mit farbigen Rändern.

Ein Körper heißt schwarz, wenn er die Lichtstrahlen weder zurückwirft, noch durchläßt, sondern alle vernichtet; er ist also nicht ein Leiter des Lichtes. Ein Körper heißt weiß, wenn er alle Strahlen des weißen Lichtes, sowie die Strahlen farbigen Lichtes in der betreffenden Farbe zurückwirft. Grau wird er genannt, wenn er nur wenig weißes Licht zurückwirft, ohne es zu zerlegen. Absolut schwarze und weiße Körper gibt es nicht, sie würden uns unsichtbar sein.

Es ist bemerkenswerth, daß derselbe Körper oft anderes Licht durchläßt, als er zurückwirft. Milchglas zeigt vom weißen Lichte rothes durchgelassenes und bläulich-weißes zurückgeworfenes; durch ganz dünnes auf weißes Glas geklebtes Blattgold erscheinen Gegenstände grünlich, also läßt Gold grünes Licht durch, während es gelbes zurückwirft; Silber läßt blaues durch, wirft weißes zurück; Wasser läßt rothes durch (herrliche Erscheinung bei dem Tauchen in die Meerestiefe), wirft blaues zurück, ähnlich wie die Lakmustinktur. Man nennt diesen Farbenwechsel

das Opalisiren der Körper, weil der Opal diese Eigenschaft in einem angenehmen Grade zeigt.

Der Schatten. Die Wellenbewegungen aller Gattungen werden in den verschiedenen Fällen durch verschiedene Körper abgeschnitten. Die Kreiswellen durch einen in die tropfbare Flüssigkeit gestellten hinreichend breiten festen Körper; die Schallwellen durch viele Körper so, daß man jenseits derselben den Schall nicht hört; die Wellen der strahlenden Wärme sind jenseits der meisten Körper nicht mehr vorhanden; ebenso werden die Schwingungen elektrischer Natur und die Lichtschwingungen oft abgeschnitten.

Ist ein Körper undurchsichtig und ist er dem Lichte ausgesetzt, so ist der Raum jenseits, abgesehen von dem nicht bedeutenden Einflusse der Beugung, in einer gewissen Abgränzung lichtlos oder der Körper bewirkt einen Schatten. Wäre nur ein leuchtender Punkt vorhanden, so würde man die Gränze des Schattens leicht dadurch finden, daß man von diesem Punkte aus die gradlinigen Strahlen nach allen in der Oberfläche des Körpers liegenden und der äußersten Gränze desselben angehörigen Punkten zieht und diese von da aus verlängert. Diese Verlängernngen liegen in der Gränzfläche des Schattens, der übrigens für unseren Fall ins Unendliche fortgeht. Ist der undurchsichtige Körper eine Kugel, so ist der Schatten kegelförmig mit der Spitze im leuchtenden Punkte und sein Querschnitt wächst mit zunehmender Entfernung von der Kugel.

Ist der leuchtende Körper nicht punktartig, sondern von größerer Ausdehnung, so gibt es hinter dem Körper zwar Raumtheile, welche von keinem Punkte des leuchtenden Körpers Licht erhalten, und dieses ist der Kernschatten; aber auch andere, welche von einzelnen Punkten erleuchtet werden, und diese geben den Halbschatten.

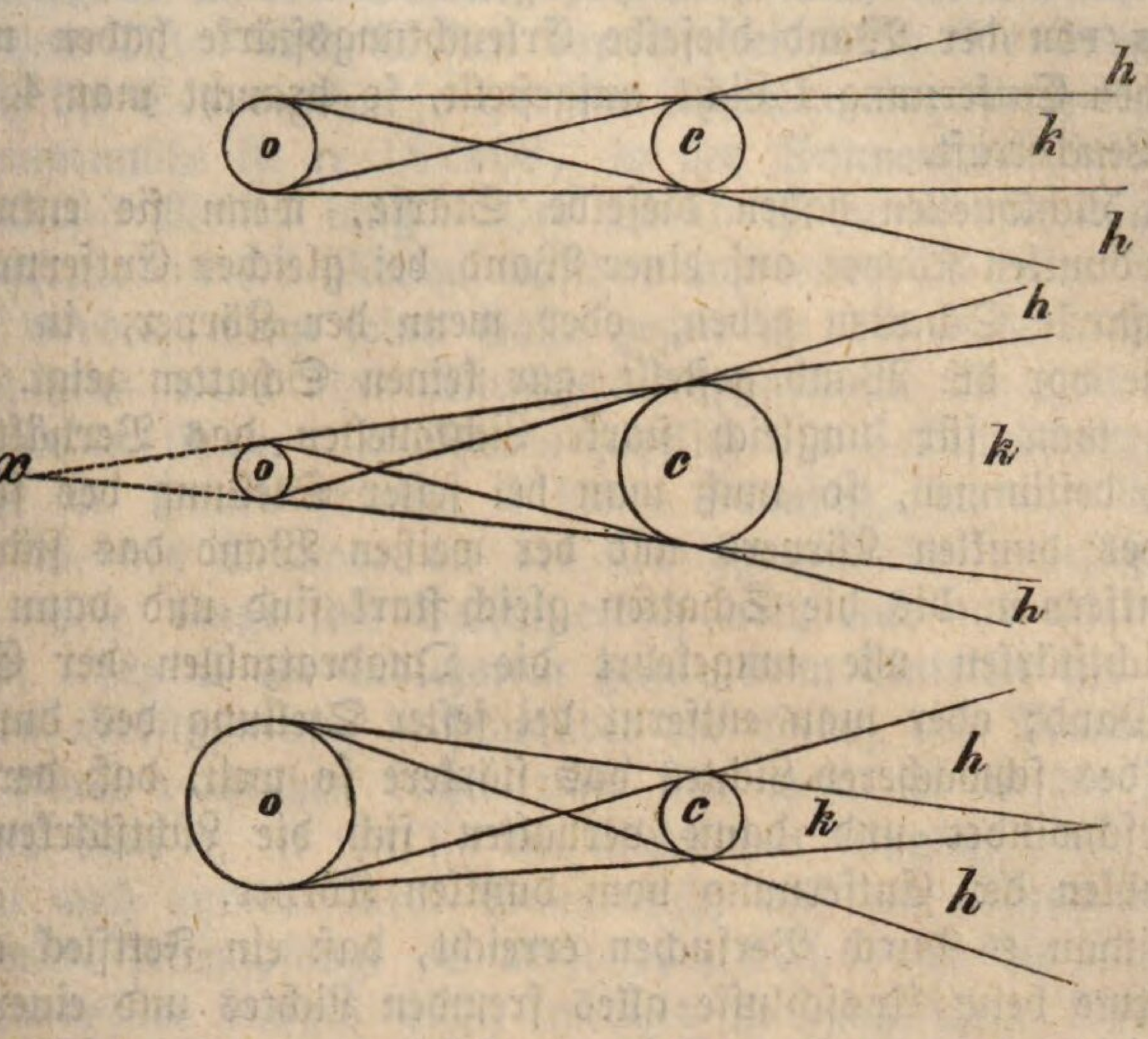
Nehmen wir an, daß der leuchtende und der beleuchtete undurchsichtige Körper kugelförmig sind, wie es bei den Himmelskörpern stattfindet, so können wir uns drei Fälle denken, welche durch die Fig. 320 dargestellt werden:

1) Beide Körper, o und c, sind gleich. In diesem Falle ist der Kernschatten k zylinderförmig.

2) Ist der leuchtende Körper o kleiner, als der beleuchtete, so ist der Kernschatten ein sich erweiternder Kegel, dessen Spitze x noch hinter dem leuchtenden liegt.

3) Ist der leuchtende Körper o größer, als der beleuchtete, wie es bei der Sonne und den Planeten der Fall ist, so lauft der Kernschatten kegelförmig spitz zu und hat als Basis den größten Sonnendurchschnitt.

In allen drei Fällen umschließt der Halbschatten h den Kernschatten mantelförmig und erweitert sich dabei mit zunehmender Entfernung.



(Fig. 320.)

Der von einem dunklen Körper bei Sonnenschein erhaltene Schatten ist nur dicht am Körper scharf begränzt, in einiger Entfernung ist die Gränze desselben kaum zu erkennen. Dies rührt theils von der Strahlenbeugung, theils von der Lichtzerstreuung und Zurückwerfung der benachbarten Körper her.

Photometrie. Auf hohen Berggipfeln ist der Kontrast zwischen Licht und Schatten bedeutender, als unter gleichen Umständen auf der Tiefebene; denn dort geht von dem Sonnenlichte durch Zerstreuung weniger verloren als hier und dort wird der Schatten durch zurückgeworfenes und zerstreutes Licht weniger beleuchtet als hier. Der Schatten von weißem Lichte wird unter übrigens gleichen Umständen um so schwärzer, je stärker das Licht ist. Nehmen wir nacheinander ein Talglicht, ein Wachslicht, das Licht von gutem Petroleum, elektrisches Licht, das Licht eines Magnesiumdrahtes, so wird ein bestimmter Stab auf eine weiße Wand in bestimmter Entfernung einen zunehmend schwärzeren Schatten werfen, wenn jene Beleuchtungen einzeln verwendet werden. — Für jedes bestimmte Licht wird aber auch der Schatten um so schwärzer, je näher man es der Wand und dem Stabe bringt. Wir wissen bereits aus einem allgemeinen Gesetze (Bd. I. S. 59), daß die Stärke der Beleuchtung einer Wand zunimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung des Lichtes von ihr abnehmen; d. h. in der halben Entfernung ist die Beleuchtung und die Erleuchtung viermal, in dem Drittel der ursprünglichen Entfernung neunmal größer, als in der einfachen Entfer-

nung. Man könnte demnach auch sagen: will man in der doppelten Entfernung von der Wand dieselbe Erleuchtungsstärke haben und ist in der einfachen Entfernung 1 Licht aufgestellt, so braucht man 4 Lichte von derselben Leuchtkraft.

Zwei Lichtquellen haben dieselbe Stärke, wenn sie entweder von demselben dunklen Körper auf einer Wand bei gleichen Entfernungen von ihm gleichstarke Schatten geben, oder wenn der Körper, in die Mitte zwischen sie vor die Wand gestellt, gar keinen Schatten zeigt.

Will man für ungleich starke Lichtquellen das Verhältniß ihrer Leuchtkraft bestimmen, so muß man bei fester Stellung des schwächeren Lichtes, des dunklen Körpers und der weißen Wand das stärkere Licht so weit entfernen, bis die Schatten gleich stark sind und dann verhalten sich die Lichtstärken wie umgekehrt die Quadratzahlen der Entfernung von der Wand; oder man entfernt bei fester Stellung des dunklen Körpers und des schwächeren Lichtes das stärkere so weit, daß der Schatten beider verschwindet und dann verhalten sich die Lichtstärken wie die Quadratzahlen der Entfernung vom dunklen Körper.

Hat man es durch Versuchen erreicht, daß ein Fettfleck auf einem Papierschirme beim Ausschlusse alles fremden Lichtes und einer Beleuchtung von jeder seiner beiden Seiten unsichtbar geworden ist; so ist er beiderseitig gleich stark erleuchtet und es verhalten sich die Lichtstärken wie die Quadratzahlen der Entfernungen vom Flecken. Jenachdem der Fleck stärker von hinten oder von vorn erleuchtet ist, wird er hell auf dunklerem Grunde oder dunkel auf hellerem Grunde erscheinen.

Panotypen, bei welchen Bilder durch reduzirtes Silber auf Glas dargestellt sind, zeigen im zurückgeworfenen Lichte, wenn man hinter das Bild eine schwarze Platte legt, positive Bilder; dagegen im durchgelassenen Lichte, oder wenn man das Bild gegen das Licht hält, negative, weil das Silber undurchsichtig ist. Jenachdem nun das obere Licht stärker oder schwächer ist, als das untere, zeigt sich das Bild beziehungsweise positiv oder negativ und bei gleicher Lichtstärke ist es unsichtbar. Läßt man daher die beiden Seiten eines solchen Bildes von verschiedenen Lichtquellen bescheinen, so hat man in der allmähligen Abblendung der stärkeren bis zum Verschwinden des Lichtes ein Maß für die relative Stärke der Lichter.

Will man in ökonomischer Beziehung Untersuchungen anstellen, so ist natürlich der Preis des Erleuchtungsmateriales und die Zeitdauer der Erleuchtung in die Rechnung zu ziehen. Besonders wichtig sind in neuerer Zeit dergleichen Untersuchungen in Betreff der Leuchtkraft des Gases mit Benutzung der Normallampe von Bunsen geworden.

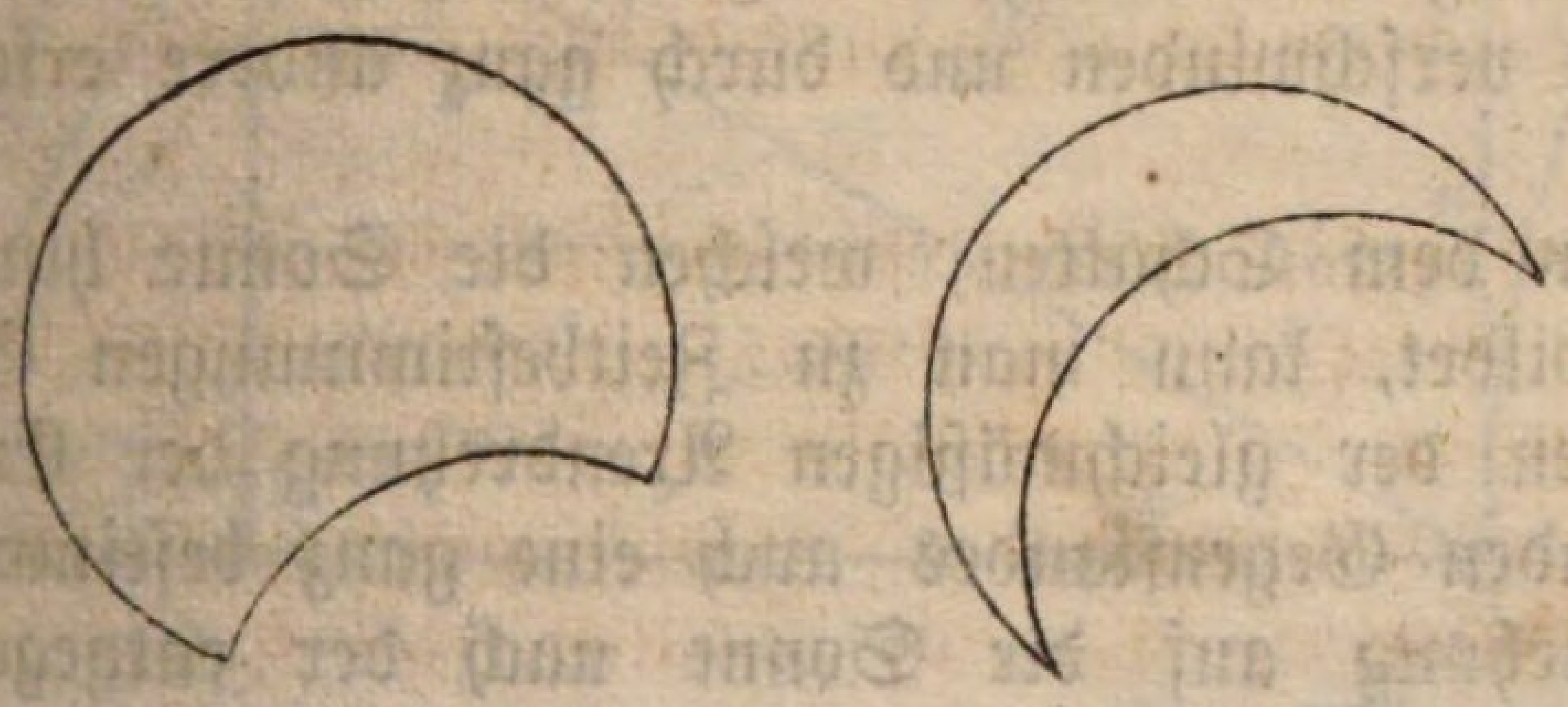
Verfinsterungen. Wenn ein Körper in den Kernschatten eines anderen tritt, so wird er uns unsichtbar; im Halbschatten erscheint er um so weniger erleuchtet, je näher er dem Kernschatten ist. Dies zeigt sich u. a. bei den Mondfinsternissen ziemlich deutlich, wo der Mond

auf der Westseite in den Schatten der Erde tritt, die Verfinsterung auf ihm also von Osten nach Westen fortschreitet. Da die Erde in einer Ellipse um die Sonne geht, so hat ihr Schatten eine verschiedene Länge: in der Sonnennähe ist er 182408, in der Sonnenferne 188640, im Mittel 185453 Meilen lang. Der Mond ist in der Erdnähe 48921, in der Erdferne 54604 Meilen entfernt und würde bei jedem Vollmonde verfinstert werden, wenn seine Bahn gegen die der Erde nicht sehr geneigt wäre und wenn ihre Durchschnittspunkte in die Zeit des Voll- und Neumondes fielen. Es können jährlich bis 3 Mondfinsternisse eintreten und die Dauer erreicht 3 bis 4 Stunden, da die Größe des Schattens die des Mondes an der Durchgangsstelle ungefähr dreimal übertrifft. Wie lange die Verfinsterung noch eine nur theilweise oder partiale ist, erscheint der Erdschatten grau; beim Eintritte der gänzlichen oder totalen Verfinsterung verschwindet der Glanz des Mondes, er erscheint in einem röthlichen Lichte und nur wenn er in die Mitte des Erdschattens eintritt, ist um sie ein nächtliches Dunkel.

Wenn auch unmittelbares Sonnenlicht auf den Mond nicht mehr gelangen kann, so empfängt er meist doch noch durch die Lichtbrechung in der Atmosphäre einiges Licht, welches je nach ihrer Beschaffenheit verschieden gefärbt erscheint.

Schon im Alterthume hat man die Mondfinsternisse fleißig beobachtet und selbst vorauszusagen vermocht. Paulus Aemilius gewann die Schlacht von Pydna gegen die Mazedonier vorzüglich dadurch, daß er seinen Soldaten die Mondfinsterniß voraussagte, während diese durch sie erschreckt wurden, und Kolumbus schüchterte die ihn bedrohenden Karaiben durch Vorausbestimmung einer Mondfinsterniß ein.

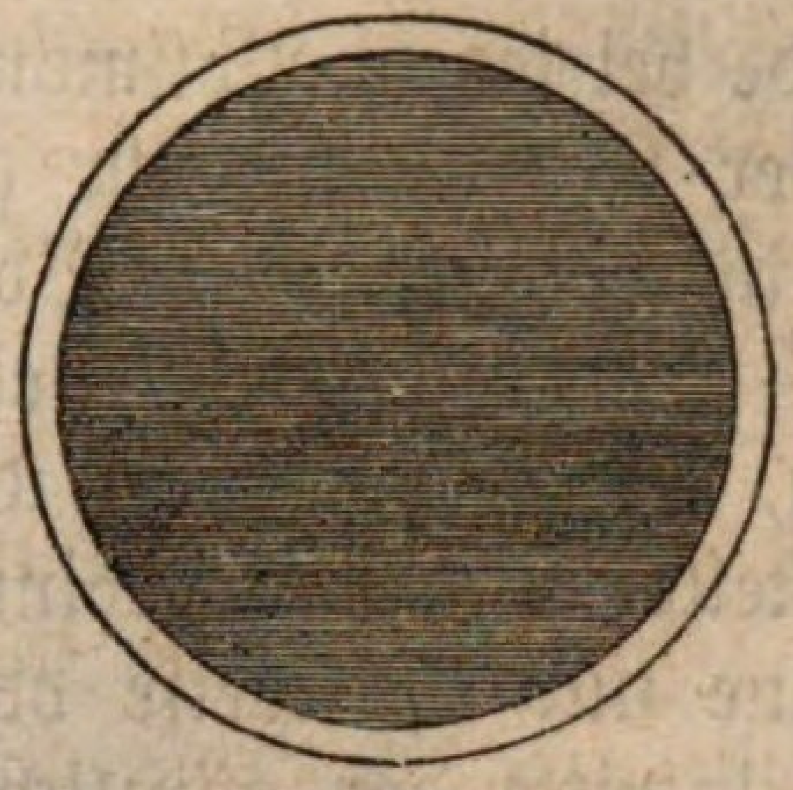
Tritt der Mond zwischen die Erde und Sonne, wie es in der Zeit des Neumondes der Fall ist, so kann er uns die Sonnenscheibe theilweise oder ganz verdecken und dies nennt man eine partiale oder totale **Sonnenfinsterniß**, obwohl die Sonne als solche nicht verfinstert wird. Die theilweise Verfinsterung kann auch ringförmig sein. Da der Mond viel kleiner, als die Erde ist, so sind diese Finsternisse nicht auf der ganzen Tagseite der Erde erkennbar und selbst die totalen nur auf einer schmalen Zone. Die Finsterniß schreitet von dem Westrande der Sonne nach dem Ostrande fort und zeigt sich, wie Fig. 321 andeutet, mit so scharf abgegränztem Rande des Mondes, daß man die dort befindlichen Berge besser erkennt, als beim Vollmonde. Erst wenn der Mond wenigstens zwei Drittel der Sonnenscheibe bedeckt, findet eine be-



(Fig. 321.)

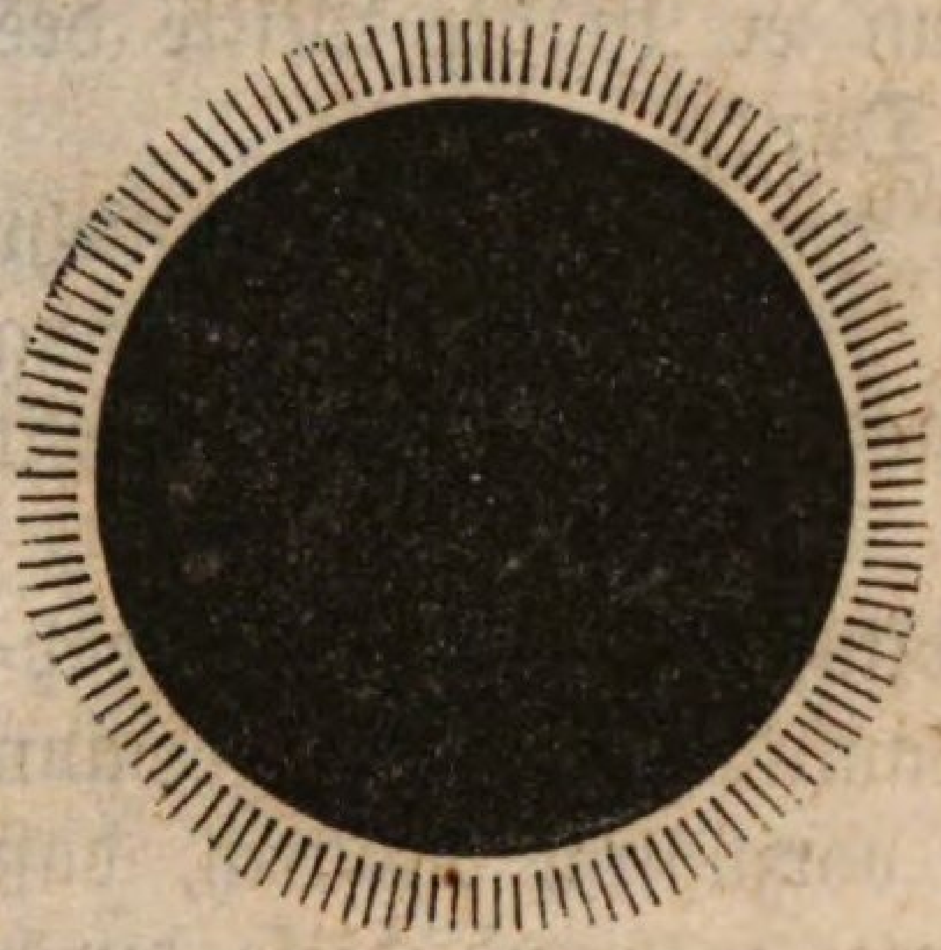
merkliche Abnahme der Tageshelle statt und die Schatten sind etwas schärfer begränzt, da der Halbschatten geringer wird.

Erscheint der Durchmesser des Mondes kleiner, als der der Sonne, so kann die Finsterniß eine ringförmige (Fig. 322) werden, aber die Zeit von der Bildung bis zur Durchbrechung des Ringes währet nur etwa 3 bis 4 Minuten und die durch die Figur dargestellte Ansicht nur einen Augenblick. Der Himmelsgrund erscheint dabei weniger dunkel als die Mondscheibe.



(Fig. 322.)

Die interessantesten sind die totalen Sonnenfinsternisse (Fig. 323), welche auch nicht über 3 bis 4 Minuten dauern und in einer höchstens 35 Meilen breiten Zone auf der Erde sichtbar sind. Die nächste für Berlin tritt erst am 19. August 1887 vormittags ein.



(Fig. 323.)

Der Himmel wird dabei so dunkel, daß man einzelne Fixsterne und Planeten mit bloßem Auge erkennt; die Wolken zeigen sich grünlich schwarz und die tief schwarz erscheinenden Gebirge haben gegen den stahlgrauen Himmel eine scharfe Begränzung; die Schatten der Gegenstände verschwinden, es wird aber nicht so dunkel, als daß man nicht noch die Gegenstände erkennen könnte; die Gesichter sehen auffallend bleich aus. Die Blumen schließen ihre Kelche, die Blätter von Akazien senken sich herab, die Insekten fliegen scheu herum, die Vögel setzen sich zur Ruhe. Mit dem Verschwinden der Finsterniß erwacht die Natur aus diesem kurzen Traume.

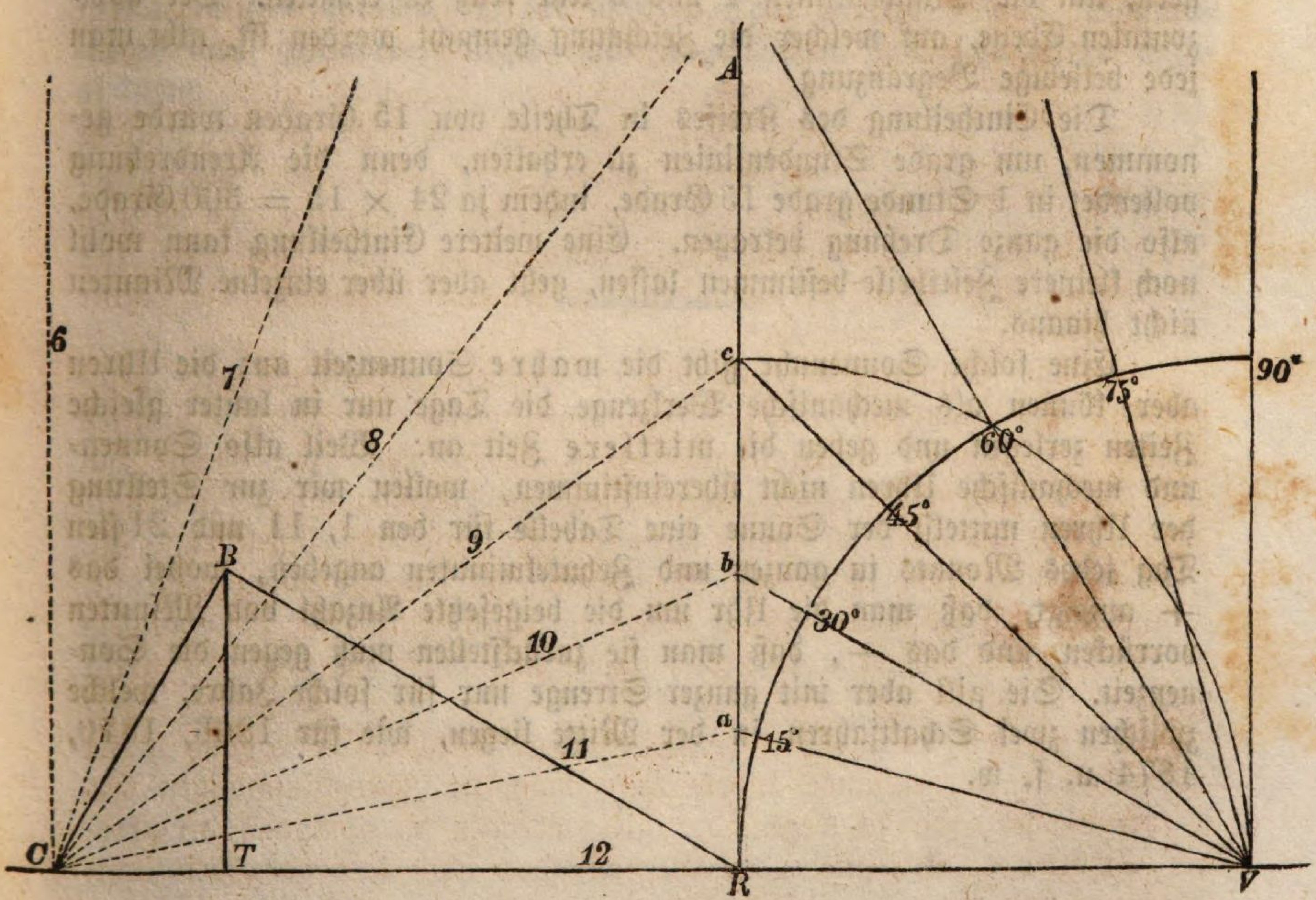
Ist die Finsterniß wirklich total, so erscheint die Mondscheibe pechschwarz und ringsum eine Lichtkrone mit weißen Strahlen erborgten Lichtes, wie es die Polarisation desselben ergeben hat; die Sonne hat also eine Hülle, welche von ihren Strahlen erleuchtet wird; innerhalb dieser Hülle aber erkennt man, wenn die Verfinsterung sichelförmig ist, selbstleuchtende hervorspringende Stellen von oft sehr bedeutender Masse, welche sich bei der Beobachtung einer einzelnen Finsterniß zwar unveränderlich zeigen, später aber verschwinden und durch ganz andere ersetzt werden.

Sonnenuhren. Von dem Schatten, welchen die Sonne hinter einem dunklen Gegenstande bildet, kann man zu Zeitbestimmungen Gebrauch machen, da ja wegen der gleichmäßigen Axendrehung der Erde der Schatten eines feststehenden Gegenstandes auch eine ganz bestimmte Drehung und zwar in Beziehung auf die Sonne nach der entgegengesetzten Seite annehmen muß.

Bei der scheinbaren Wanderung der Sonne von Osten über Süden nach Westen geht der Schatten eines lothrecht auf den Horizont gestellten Gegenstandes von Westen über Norden nach Osten.

Man hat schon im Alterthume vor mehr als 3000 Jahren und auch später, namentlich ehe man noch die Uhren mit Räderwerken kannte, diesen Gedanken aufgenommen und Sonnenuhren für verschieden liegende Flächen angegeben. Wenn auch der aufmerksame Landbewohner, welcher seine Arbeiten auf die Tageszeiten eintheilen will, oft auf eine wunderbare Weise aus dem Stande der Sonne über dem Horizonte auf die Tagesstunde richtig schließt; so sind doch gute Sonnenuhren bei dem dort so häufigen Mangel richtig gehender anderer Uhren ein Bedürfniß und deshalb wollen wir die Konstruktion einer solchen für eine horizontale Ebene angeben.

Zuerst zieht man auf der horizontal gestellten Ebene die Mittagslinie, d. h. die Linie, in welche der kürzeste Schatten eines senkrecht auf sie gestellten Stabes fällt. Man kann dazu auch den Polarstern anwenden, ohne einen bedeutenden Fehler zu begehen, da die Verlängerung der Erdaxe fast genau auf ihn trifft. Man lothet nämlich von ihm aus vor der horizontal gestellten Ebene und zeichnet auf ihr die Linie, welche durch die Lothlinie bedeckt wird.



(Fig. 324.)

In Fig. 324 bedeutet CRV die von Süden (C) nach Norden (V) gehende Mittagslinie. Auf sie wird lothrecht das rechtwinklige Dreieck CBT gestellt, bei welchem der Winkel bei C gleich sein muß der geographischen Breite oder der Polhöhe des Ortes, wo die Sonnenuhr aufgestellt werden soll. Dann zieht man in der erweiterten Ebene des Dreiecks auf der CB im Punkte B die senkrechte BR, trägt die TR von R an auf, so daß RV = TR ist, zeichnet mit V·R als Radius einen Kreis um V und trägt auf seine Peripherie von R aus Bogen von 15° wiederholt auf. Wenn nun auf CV in R die Lothrechte RA errichtet, V mit den Theilungspunkten der Peripherie verbunden wird, diese Verbindungslinien bis an die RA verlängert und die Treffungspunkte, wie a, b, c..., mit C verbunden werden; so sind CV, Ca, Cb, Cc u. s. w. die Vormittagsstundenlinien, welche als Schattenlinien der scharf begränzten Hypotenuse CB des aufgestellten Dreiecks erscheinen, und die Nachmittagsstundenlinien bekommt man, wenn man dieselbe Zeichnung auf der entgegengesetzten Seite der CV entwirft. Will man die Stundenlinien vor 6 Uhr früh und nach 6 Uhr abends erhalten, so muß man die Stundenlinien 7, 8 über C hinaus verlängern, um die Stundenlinien 7 und 8 abends und die hier nicht gezeichneten Stundenlinien 4 und 5 nachmittags auch über C verlängern, um die Stundenlinien 4 und 5 Uhr früh zu erhalten. Der horizontalen Ebene, auf welcher die Zeichnung gemacht worden ist, gibt man jede beliebige Begränzung.

Die Eintheilung des Kreises in Theile von 15 Graden wurde genommen, um grade Stundenlinien zu erhalten, denn die Axendrehung vollendet in 1 Stunde grade 15 Grade, indem ja 24 × 15 = 360 Grade, also die ganze Drehung betragen. Eine weitere Eintheilung kann wohl noch kleinere Zeittheile bestimmen lassen, geht aber über einzelne Minuten nicht hinaus.

Eine solche Sonnenuhr gibt die wahre Sonnenzeit an; die Uhren aber können als mechanische Werkzeuge die Tage nur in lauter gleiche Zeiten zerlegen und geben die mittlere Zeit an. Weil also Sonnen- und mechanische Uhren nicht übereinstimmen, wollen wir zur Stellung der Uhren mittelst der Sonne eine Tabelle für den 1, 11 und 21sten Tag jedes Monats in ganzen und Zehntelminuten angeben, wobei das + anzeigt, daß man die Uhr um die beigesetzte Anzahl von Minuten vorrücken, und das —, daß man sie zurückstellen muß gegen die Sonnenzeit. Sie gilt aber mit ganzer Strenge nur für solche Jahre, welche zwischen zwei Schaltjahren in der Mitte liegen, wie für 1866, 1870, 1874 u. s. w.

Jan.	1.	+ 3,9	Mai	1.	— 3,0	Sept.	1.	— 0,1
"	11.	+ 8,2	"	11.	— 3,8	"	11.	— 3,4
"	21.	+ 11,6	"	21.	— 3,7	"	21.	— 6,9
Febr.	1.	+ 13,9	Juni	1.	— 2,5	Okt.	1.	— 10,3
"	11.	+ 14,5	"	11.	— 0,7	"	11.	— 13,2
"	21.	+ 13,9	"	21.	+ 1,4	"	21.	— 15,3
März	1.	+ 12,6	Juli	1.	+ 3,5	Nov.	1.	— 16,3
"	11.	+ 10,2	"	11.	+ 5,1	"	11.	— 15,8
"	21.	+ 7,4	"	21.	+ 6,1	"	21.	— 14,0
April	1.	+ 4,0	Aug.	1.	+ 6,1	Dez.	1.	— 10,8
"	11.	+ 1,1	"	11.	+ 5,0	"	11.	— 6,6
"	21.	— 1,3	"	21.	+ 3,0	"	21.	— 1,7

Auf den Polen der Erde wäre die Sonnenuhr sehr leicht zu erhalten. Man theilt nämlich nur einen horizontalen Kreis in 24 gleiche Theile. — Unter dem Aequator würde man die Scheibe am bequemsten lothrecht in seine Richtung stellen und auf den beiden Seiten für die beiden Hälften des Jahres die Eintheilung machen. Eine Sonnenuhr ist nur dann für alle Orte brauchbar, wenn der Schatten sich auf einer dem Aequator parallelen Ebene in dem einen halben Jahre auf der einen, in dem anderen auf der anderen Seite projiziren kann. Sonnenuhren auf Zylinder-, Kegel- und Kugelflächen sind schwieriger anzufertigen.

Achte Abtheilung.

Schwingende Molekularbewegungen insbesondere.

Nachdem wir in der sechsten Abtheilung diejenigen Erscheinungen der Molekularschwingungen angeführt haben, bei welchen sich gemeinschaftliche Grundzüge erkennen ließen, wollen wir jetzt die fünf Erscheinungen des Schalles, des Lichtes, der Wärme, der Elektrizität und des Magnetismus mehr jede für sich behandeln und dasjenige daraus noch ergänzen, dessen frühere Betrachtung uns zu weit von dem gemeinsamen Ziele abgeführt haben würde, um endlich, nachdem wir auf diese Weise eine möglichst klare Einsicht in das Einzelne gewonnen haben, in der neunten Abtheilung den Gipfel der Betrachtung zu ersteigen, indem wir dann den inneren Zusammenhang dieser fünf Erscheinungen werden kennen und daraus den Stoff für die Erkenntniß des wahren Wesens derselben auffinden lernen.

Erster Abschnitt.

Vom Schalle.

Man nennt die Lehre vom Schalle meistens Akustik, was aber, wenn man nach der Wortbedeutung darunter die Lehre vom Hören und nicht die vom Hörbaren verstände, nicht hinreichend bezeichnend wäre. Indeß haben wir aus dieser Lehre vorzüglich nur noch solche Betrachtungen übrig, welche eine engere Beziehung des erregten Schalles auf die Wahrnehmung desselben durch das Gehör und die dadurch hervorgebrachten Empfindungen enthalten. Es liegt hier in physikalischer Beziehung offenbar die Erscheinung der Transmission der Schwingungen des schallenden Körpers auf die Nerven vor, welche zu einer Resonanz

angeregt werden, die in uns je nach der Beschaffenheit der Schwingungen Widerwillen oder Wohlgefallen erregt. Die Erregbarkeit der Nerven ist bei verschiedenen Menschen sehr verschieden: Manche können es nicht vertragen, wenn man ein Messer an einem anderen reibt; Andere, wenn man mit einem nassen Flecken beim Reinigen von Porzellangeschirren einen pfeifenden Ton hervorbringt; in den Konzerten, welche der berühmte Akustiker Chladni auf seiner Glasharmonika gab, wurden in der Regel einige Personen ohnmächtig. Dieser merkwürdige Zusammenhang zwischen den Tönen und der durch sie vermittelst der Nerven hervorgebrachten Empfindung macht die Musik so recht eigentlich zu dem Ausdrucke des Gefühles. Es spricht sich durch sie ebensowohl die Leidenschaft aus, wie die Sanftmuth, die Wehmuth wie die Freude, die Sehnsucht wie die Fülle des Genusses, die Rohheit wie der zarte Sinn; mit einem Worte: es spiegelt sich in der Musik nicht nur das Gefühlsleben des einzelnen Menschen ab, sondern auch der Charakter ganzer Völker; denn man spricht ja mit Recht von Nationalmelodieen und in der That: wo gibt es ein Volk vom eisigen Norden bis in den glühenden Süden, welches seinen Schmerz und seine Freude, seine Lust und seine Liebe nicht den Tönen anvertraute und wobei sich nicht die Natur und der Charakter abspiegelte? Wie einförmig schwimmen die melancholischen Töne des Sohnes der Steppe dahin! In wie kühnen Sprüngen, gleich den schroffen und zackigen Felsengipfeln, bewegt sich das Jodellied des Alpenbewohners! Wie steif und abgemessen ist die Musik des Amerikaners, wie feurig und beschränkt zugleich die des Negers!

Aber die Musik ist nicht blos der Ausfluß des Gefühles, sie ruft es auch hervor, regt sogar den Willen an und treibt ihn zur That. Gleichwie zwei Uhrwerke, welche in ihrem Gange, wenn auch nicht bedeutend, verschieden sind, nach und nach miteinander übereinstimmen, wenn man sie auf derselben Platte befestigt hat, wodurch eine Transmission vermittelt ist; so regt der Rythmus der Musik unseren Körper im Marsche und im Tanze zur Beachtung desselben Taktes an. So treibt die Macht der Musik nicht nur zum wirbelnden Tanze, sondern auch in die blutige Schlacht.

Da besonders das deutsche Volk ein musikalisches und namentlich ein vielsingendes ist, so wird es für jeden gebildeten wohl ein hervorragendes Interesse haben, wenn ich hier auf die physikalische Natur der Töne und ihre Geltung in der Musik etwas näher eingehe.

Entstehungsweisen des Schalles. Wenn ein Körper irgend eines Aggregatzustandes durch irgend einen anderen einmal oder wiederholt gestoßen wird, selbst wenn auch die Stöße in eine Reibung, d. h. in eine sehr schnelle Aufeinanderfolge unbedeutender Stöße übergehen, so entsteht überhaupt ein Schall. Bringen diese Stöße hinreichend schnelle wiederholte Bewegungen des ganzen Körpers oder einzelner Theile innerhalb gewisser Gränzen hervor und sind diese Schwingungen sämmtlicher

Theile fortwährend von gleicher Dauer, so ist der erzeugte Schall ein Klang. Wenn man bei einem Klange auf die Anzahl der Schwingungen in einer bestimmten Zeit, namentlich der Sekunde, Rücksicht nimmt; so heißt er ein Ton.

Den Unterschied von einem verworrenen Schalle oder einem Geräusche und einem Klange kann man recht deutlich wahrnehmen, wenn man an dem Umfange des einen von zwei Metallrädchen ungleichgroße Zähne oder gleichgroße in ungleichen Entfernungen von einander und an dem des anderen gleichgroße Zähne in gleichen Entfernungen anbringt. Werden diese Rädchen gleichmäßig schnell um ihre Axe gedreht und dabei an die Zähne ein harter Gegenstand (ein Streifen Fischbein) gehalten, damit Stöße entstehen; so gibt jenes Rädchen ein Geräusch, dieses einen Klang, und wenn man die Drehung des letzteren beschleunigt, so wird der Ton ein höherer. Je mehr Stöße in einer bestimmten Zeit erfolgen, desto höher ist also der Ton.

Zu jeder bestimmten Anzahl von Stößen, sie mögen durch was immer für Körper hervorgebracht worden sein, gehört ein Ton von einer ganz bestimmten Höhe. Hierbei sind aber nicht die Stöße oder Schläge gemeint, welche man mit einem bestimmten Körper, z. B. einem Korkhammer, auf einen anderen bestimmten, z. B. auf einen an seinen beiden Enden festgehaltenen Glasstreifen, vollführt, sondern die Stöße, welche der zum Schwingen angeregte Körper, hier der Glasstreifen, auf den ihn umgebenden, z. B. die atmosphärische Luft, zur Fortpflanzung der Schwingungen ausübt. Die Vermehrung der Anzahl der Hammerschläge auf den Glasstreifen ist nämlich nicht im Stande, den Ton zu erhöhen: ein einzelner Schlag gibt keinen anderen Ton, als wiederholte Schläge.

Die Körper aller Aggregatzustände sind zur Tonerzeugung fähig, nicht nur jeder kann einen anderen desselben Zustandes, sondern jedes anderen Zustandes zum Tönen bringen, aber natürlich um so leichter, je elastischer er ist und zu um so stärkeren Tönen, je mehr er Masse besitzt. Ein Stahlstreifen z. B. tönt leichter, als ein Holzstreifen, aber schwächer als eine Glocke, welche denselben Ton gibt. Man hat daher den Versuch, die Thurmglocken durch Stahlfedern zu ersetzen, als unpraktisch aufgegeben.

Wir wollen nun eine Reihe hierher gehöriger Fälle angeben, in welchen die Töne auf rein mechanische Weise von außenher erzeugt werden, indem wir erst später ausführen werden, wie die Sonne, Wärme, Elektrizität und der Magnetismus auch Töne hervorzubringen vermögen.

Feste Körper können sich an festen entweder stoßen oder reiben. Den ersten Fall haben wir an den schon erwähnten gezahnten savartschen Rädern. — Wenn man mit der Kante an dem Rücken eines Fingernagels schnell genug über den Einband eines Buches fährt, das mit in Rippen gepreßtem Papier überzogen ist; so hört man einen

pfeifenden Ton, welcher um so höher wird, je schneller die Bewegung ist. Hier werden auch schnell aufeinander folgende Stöße vollführt. — Derselbe Fall ist es, wenn man mit schleifenden Füßen am Meeresstrande über den feinen Sand geht, welchen die Sonne mittelst des Seesalzes zu einer Kruste zusammengebacken hat. Man hat dieses „Tönen des Sandes“ mit dem berühmten Tönen der Memnonssäule in eine Linie gestellt; ich habe mich aber durch die genaueste Untersuchung überzeugt, daß der Ton nur durch mechanische Stöße und nicht durch eine Wärmedifferenz zweier Körper erzeugt wird. — Hierher gehört auch das Quarren des Schnees beim Gehen, welches aber erst etwa bei 8—9° Kälte eintritt, weil bei geringerer Kälte der Schnee noch zu weich ist. — Den anderen Fall, daß nämlich durch Reibung eines festen Körpers an einem anderen festen auch Töne erzeugt werden, haben wir bei allen Streichinstrumenten, oder wenn man mit einem feuchten Finger oder Korke um den Rand eines glockenförmigen Weinglases fährt, oder wenn man eine Stimmgabel, eine Klangscheibe u. a. mit einem geharzten Violinbogen anstreicht oder eine ziemlich lange Glasröhre mit einem feuchten Tuchflecken der Länge nach reibt u. s. w.

Ein tropfbarer Körper reibt sich an einem tropfbaren bei den Wasserpfeifen, welche einen tiefen brausenden Ton im Wasser vernehmen lassen, wenn man vermittelst eines Druckwerkes recht gleichmäßig Wasser durch das sogen. Mundstück einer offenen Pfeife preßt.

Durch Stöße von Luft auf Luft oder das Reiben von Luft (auch Dampf) an Luft werden theils die zartesten, theils die durchdringendsten Töne hervorgebracht. Stöße finden statt bei der früher (Bd. I. S. 549) angeführten Syrene, welche mittelst eines Zählwerkes die Zählung der Stöße gestattete. — Eine einfachere Lochsyrene ist die oppeltsche Scheibensyrene. Eine kreisrunde Scheibe aus dünnem, aber recht festem Pappdeckel oder aus Metallblech hat in verschiedenen Kreisperipherien eine verschiedene Anzahl von kleinen, etwa $1\frac{1}{2}$ Linien weiten kreisrunden Oeffnungen, welche für jeden der Kreise gleiche Entfernungen von einander haben. Wird nun diese auf einem Gestelle lothrecht angebrachte Scheibe mittelst einer Schwungmaschine recht gleichmäßig um ihren Mittelpunkt gedreht und bläst man durch ein enges Glasröhrchen auf die Oeffnungen in derselben Kreisperipherie; so hört man einen Ton, welcher bei demselben Kreise um so höher ist, je schneller die Drehung geschieht oder je mehr Oeffnungen bei einer gewissen Drehungsgeschwindigkeit in dem Kreise sich befinden.

Die Tonwellen mit ihren Verdichtungen und Verdünnungen entstehen jenseits der Scheibe: der verdichtete Theil der Welle, wenn der Luftstrom aus dem Röhrchen auf eine Oeffnung trifft, der verdünnte, wenn er durch den massiven Theil der Scheibe unterbrochen wird. — Eine schwingende Saite wird dann mit der Scheibe einerlei Ton geben, wenn sie während einer Umdrehung derselben ebensoviele ganze Schwin-

gungen (Stöße) macht, als in der Peripherie Oeffnungen vorhanden sind. Daß sich durch die Scheibe nicht so genau die zu einer Saite von bestimmter Tonhöhe gehörige Schwingungszahl bestimmen läßt, als durch die Syrene mit dem Zählwerke, ist selbstverständlich.



(Fig. 325.)

In diese Betrachtungsreihe gehören auch die ihrem Wesen nach recht interessanten Töne der sogen. chemischen Harmonika, denn andere Erklärungsweisen scheinen mir unzulässig zu sein. Die Vorrichtung dazu (Fig. 325) läßt sich sehr leicht herstellen. Man nimmt ein Medizinfläschchen a, thut in dasselbe etwas Zink in kleinen Stücken (granulirten), gießt darauf etwas verdünnte Salzsäure und setzt nun einen durchbohrten Kork auf, durch dessen Oeffnung gut anschließend ein Glasröhrchen b geht, welches oben in eine feine Spitze ausgezogen ist. Sowie das angesäuerte Wasser aufgegossen wird, erfolgt eine Zersetzung: der Sauerstoff des Wassers verbindet sich mit dem Zink und der Wasserstoff entweicht brausend nach oben. Weil sich hierbei eine ziemlich bedeutende Wärme entwickelt, steigen auch Wasserdämpfe mit empor. Wenn das Wasserstoffgas die im Fläschchen befindlich gewesene atmosphärische Luft ausgetrieben hat, zündet man den oben ausdringenden Wasserstoffstrahl an; früher darf dies nicht geschehen, weil sonst der Wasserstoff mit dem Sauerstoffe der atmosphärischen Luft Knallgas gebildet haben würde, welches beim Anzünden eine das Glas zersprengende Detonation hervorgebracht hätte. Statt des Wasserstoffgases kann man auch Leuchtgas anwenden.

Hält man nun über das Flämmchen eine Glas- oder andere Röhre c, aber nicht so tief, als es die Zeichnung darstellt, sondern höchstens nur um den vierten Theil der ganzen Länge von der Oeffnung entfernt; so hört man in der Regel bei angemessener Tiefe der Flamme sofort den Ton, welchen die Luftsäule bei ihrem sonstigen Anblasen geben würde, auffallend stark und durchdringend. Will der Ton nicht sogleich entstehen, so kann man dadurch zuhilfe kommen, daß man denselben Ton außerhalb der Pfeife anhaltend hervorbringt. Es gewährt einen überraschenden Eindruck, wenn man mehre gut zueinander stimmende Pfeifen gleichzeitig tönen läßt.

Die Schwingungen der Luftsäule werden durch die an der Mündung des Röhrchens beim Verbrennen gebildeten Stöße erzeugt. Die

Stöße entstehen dadurch, daß durch das Verbrennen des Wasserstoffes an der Mündung etwas Sauerstoff der atmosphärischen Luft verzehrt und dadurch ein etwas luftverdünnter Raum hervorgebracht wird, daß dann die atmosphärische Luft in diesen Raum stürzt und dabei etwas in das Innere des Röhrchens eindringt, daß aber die Druckkraft des sich entwickelnden Wasserstoffes die Luft wieder hinaustreibt und aufsneue die Bedingung des Verbrennens herbeiführt u. s. w. Bei genauer Beobachtung sieht man in der That das Flämmchen auch eine kurze Strecke in der Röhre, erkennt aber wegen allzugroßer Geschwindigkeit das abwechselnde Hervortreten und Eindringen nicht, sondern glaubt es beständig darin zu sehen. — Aehnliche, wenn auch nicht so schnelle Stöße kann man an der Zugthüre eines Stubenofens erkennen, in welchem ein Feuer lebhaft brennt. Das Feuer verzehrt einen Theil der eingedrungenen Luft und bringt zugleich an der Mündung der Metallthüre durch Erwärmung eine Verdünnung der Luft hervor; deshalb stürzt die Stubenluft nach der Oeffnung und durch sie zum Feuer, dieses aber erwärmt sie und dehnt sie so aus, daß ein Theil derselben, häufig sogar mit Rauch und Flamme, durch die Oeffnung in die Stube zurücktritt, wie man es an dem mitgeführten Rauche sehen kann, aber nur, um sofort wieder durch die Stubenluft hineingedrückt zu werden u. s. w.

Durch Reibung von Luft an Luft entsteht bei den sogen. Lippenpfeifen der Ton. Bei der Flöte wird der aus dem Spalte zwischen den Lippen hervorgepreßte schmale Luftstrom an die in dem Instrumente vorhandene Luftsäule so geblasen, daß sie dadurch auch nur an dem einen Ende gerieben wird, wie eine Saite durch den Violinbogen. — Bei den Pfeifen, welche man im Frühlinge aus der Rinde von saftigen Weidenstäben macht, wird ein schmaler Luftstreifen durch einen am Mundstücke vorhandenen und nur an einer Seite sehr wenig verdünnten Kern hervorgebracht und derselbe auch gegen den Anfang der Luftsäule geblasen. Aehnlich ist es bei anderen Blaseinstrumenten, namentlich den meisten Orgelpfeifen.

Wenn ein Luftstrom an einem festen Körper, welcher zu tönen geneigt ist, vorübergeht; so werden durch diese Reibung die Töne wirklich erzeugt. Dies erkennt man u. a. an der Aeolsharfe, bei welcher harmonisch gestimmte Saiten lothrecht an einem Resonanzboden dem Luftzuge oder Winde ausgesetzt werden. — Bei der Handharmonika sind abgestimmte elastische Metallstreifen an den Oeffnungen eines blasebalgartigen Windkastens mit dem einen Ende so befestigt, daß sie nur einen ganz engen Spielraum zur Verbindung der inneren Luft mit der äußeren lassen. Wird der Kasten erweitert, so wird die Luft in ihm verdünnt, die äußere strömt durch die Spalten an den Metallzungen vorüber und sucht sie hineinzudrücken; wird der Kasten durch das Zusammendrücken verkleinert, so wird die Luft in ihm verdichtet, ein Theil derselben strömt durch die Spalten heraus und drückt auch die Metallzungen nach aus-

wärts. In beiden Fällen werden die Zungen in tönende Schwingungen versetzt, bei welchen die Luft im Kasten durch das Mittönen eine bedeutende Verstärkung erzeugt. Der Zugang der Luft zu den einzelnen Zungen ist durch Klappen abgeschlossen, welche nach dem Bedürfnisse geöffnet werden oder geschlossen bleiben. — Bei der Mundharmonika übernimmt die Mundhöhle die Rolle des Windkastens.

Hierher gehört auch die menschliche Stimme und die Stimme aller Thiere mit Lungen. Das ganze Stimmorgan bilden die Lungen als der Luftbehälter, welcher durch Verkürzung der Muskeln die Luft auszuströmen, durch Verlängerung aber einzuströmen veranlaßt, was beim Athmen in der Regel geräuschlos geschieht. Der Luftstrom geht durch die zylindrische Luftröhre, welche aus verschiebbaren elastischen Knorpelringen und Häuten zusammengesetzt ist; daran schließt sich der aus vier Knorpelstücken zusammengesetzte Kehlkopf und dieser trägt die beiden Stimmbänder, welche die Stimmritze zwischen sich lassen. Durch zahlreiche Muskeln wird die Bewegung der einzelnen Knorpelstücke, die Erweiterung und Verenguug der Stimmritze, so wie die Erschlaffung und Anspannung der Stimmbänder hervorgebracht. Die Stimmbänder gerathen durch die zwischen ihnen hervorgepreßte Luft in Schwingungen, wodurch je nach dem Grade ihrer Spannung und der Kraft des Luftstromes verschieden hohe Töne entstehen. Die Luft der Mund- und Nasenhöhle, so wie die festen Bestandtheile des Kopfes bewirken durch Resonanz eine namhafte Verstärkung. Damit die Luft der Mundhöhle leichter mittöne, wird diese für tiefe Töne erweitert, für hohe verengt. Bei den Nasentönen wird durch die Verengung der Gaumenbogen die Nasenhöhle allein oder fast allein zur Resonanz veranlaßt. Durch Hineinziehen der Luft kann man zwar auch Laute, aber nicht verschiedene Töne hervorbringen. Der Umfang der menschlichen Stimme reicht selten über zwei Oktaven hinaus, nur die Sängerin Katalani hatte ein enorm kräftiges Organ, welches 3½ Oktaven umfaßte. — Beim Pfeifen mit dem Munde vertreten die Lippen die Stimmbänder.

Wenn man bisweilen von Fischen, welche man in die Luft gebracht hat, oder von den Klappmuscheln einzelne Laute hört, so rühren diese davon her, daß sich bei den Fischen etwas Luft unter den Kiemen und bei den Muscheln zwischen den beiden Schalen befindet, welche beim Zusammendrücken mit einem Laute entweicht.

Ferner werden Töne auch durch Stöße von festen Körpern auf Luft erzeugt. Hierher gehört die Stab- oder Speichensyrene, durch welche man vorzüglich tiefe und brausende Töne erhalten kann. Ein Stab oder zwei und auch mehre miteinander in ihrer Mitte verbundene und in einer Ebene liegende Stäbe sind um eine lothrecht durch die Mitte gehende Axe drehbar zwischen zwei möglichst dicht aneinander parallel angebrachten Brettern. Durch die bei einer gleichmäßigen Drehung in gleichen Zeiten von den Speichen auf die zwischen den Brettern

enthaltene Luft ausgeübten Stöße werden Verdichtungen und Verdünnungen erzeugt: die hervortretende Speiche hat vor sich die Verdichtung und hinter sich die Verdünnung. Erfolgen in einer Sekunde 16 Durchgänge, so entsteht derselbe Ton wie durch eine Saite, welche 16 Schwingungen macht oder durch eine Syrene, wenn der Luftstrom 16 Oeffnungen getroffen hat. Es ist dieses der tiefste in der Musik angewendete Ton, welchen bei Orgeln eine 32 Fuß lange und offene Pfeife gibt. — Weil bei dieser Vorrichtung sehr kräftige Schläge ausgeübt werden, hört man schon bei 8 bis 10 Stößen einen Ton.

Bei den Trompeten und Waldhörnern bringt der Blasende seine Lippen in schwingende Bewegungen und diese werden übergetragen auf die Luftsäule im Instrumente. — Bei allen Saiteninstrumenten, Trommeln, Pauken u. dergl. findet die Fortpflanzung der Töne in der Luft durch die unmittelbar auf sie vom tönenden Körper ausgeübten Stöße statt. — Bei allen Zungenpfeifen, wie bei den Oboen und Klarinetten, ebenso beim Fagott, werden zwar die elastischen Zungen zunächst durch einen verdichteten Luftstrom in schwingende Bewegung gesetzt, diese aber üben dann ihrerseits auch Stöße auf die Luftsäule des Instrumentes aus, wodurch diese ins Tönen geräth. Die Länge der Zunge, durch welche ihr eigener Ton bedingt ist, muß mit der Länge der Luftsäule in einem angemessenen Verhältnisse stehen, wenn letztere durch erstere gut ansprechen soll.

Bei der sogen. Maultrommel tönt das zwischen dem lyraförmigen Eisen befindliche Metallzüngelchen zwar auch schon, wenn man sie frei in der Luft hält und es anschlägt; bringt man aber die Lyra zwischen die Zähne, so wird nach dem Anschlagen die Luft in der Mundhöhle zum Mittönen genöthigt und verstärkt bei angemessenem Raume nicht nur den Grundton der Zunge, sondern es sind durch abwechselnde Verengung und Erweiterung auch andere dazu harmonirende Töne wahrzunehmen. Die Zähne dienen natürlich auch wesentlich zur Verstärkung der Töne, namentlich für den Spielenden selbst.

Einen weniger praktisch, als vielmehr theoretisch bemerkenswerthen Fall für die Tonerzeugung durch die Stöße von Wasser auf Luft, bietet die Erscheinung dar, daß man einen leisen Ton vernimmt, wenn man Wasser aus einer kleinen Oeffnung in der dünnen Bodenfläche eines Gefäßes so fließen läßt, daß lauter kleine Tropfen aufeinander folgen, aber so schnell, daß sie uns einen ununterbrochenen Faden zu bilden scheinen. Die Tropfen erleiden hierbei schnell wechselnde Veränderungen in der Form, indem sie von der Fadenform durch allmählige Verkürzung der lothrechten Abmessung kugelförmig und dann durch allmählige Verbreiterung ganz flach werden, um durch Verkürzung der horizontalen Abmessung wieder die Kugelform anzunehmen u. s. w. Es ist klar, daß dieser Wechsel der Formenänderung theils von dem Widerstande der Luft beim Fallen, theils von dem Bestreben, die Kugelform anzunehmen, her-

rührt und daß der Ton entsteht, weil die horizontal flache Gestalt des Wassers die Verdichtungswelle, die lothrecht lange die Verdünnungswelle in der Luft erzeugt.

Wahrnehmung des Schalles. So wunderbar verschieden die angeführten Methoden zur Erzeugung von Tönen auch sein mögen, so offenbar erscheinen sie in allen Fällen als durch mechanische Stöße hervorgebrachte Schwingungen irgend eines Körpers. Diese Schwingungen werden aber durch unser Gehörorgan nicht als einzelne Stöße empfunden, sondern als etwas ununterbrochen Zusammenhängendes, weil der Eindruck eines gewissen Stoßes, welcher sich vorzüglich an den Stellen der Bäuche wirksam zeigt, noch fortdauert oder sein Ende noch nicht erreicht hat, wenn der nächstfolgende Stoß seine Einwirkung bereits geltend macht. Je mehr diese Eindrücke einander bedecken, oder je weniger sie von einander sich absondern, d. h. je schneller die Stöße aufeinander folgen, desto höher nennen wir den Ton. Ungeachtet dieses Ineiandergreifens der Stoßempfindungen hat unser Ohr eine erstaunenswürdige Fähigkeit für die Unterscheidung der Anzahl von Stößen, welche in einer gewissen Zeit geschehen, denn es ist bei hinreichender Uebung fähig, zu unterscheiden, ob in 1 Sekunde zu einem Tone 1200 oder 1201 Schwingungen gehörten und kann überhaupt die Laute und Töne von 8 Stößen an bis etwa zu 33000 unterscheiden. Die beiden Gränzen der Wahrnehmbarkeit sind bei verschiedenen Menschen auch verschieden.

Man unterscheidet beim menschlichen Ohre drei Theile: das äußere Ohr oder die Ohrmuschel, das mittlere Ohr oder die Paukenhöhle und das innere Ohr oder Labyrinth.

Die Ohrmuschel fängt den Schall auf, leitet ihn in den Gehörgang bis an dessen Verschluß, nämlich das Trommelfell. Will man deutlich hören, so wendet man das Ohr dem ankommenden Schallstrahle so zu, daß er es möglichst senkrecht trifft. Leute mit abstehenden Ohren oder mit hinter die Ohren gehaltenen flachen Händen nnd mit geöffnetem Munde hören besser, als ohne diese Mittel. In den beiden ersten Fällen wirken die zurückgeworfenen Wellen verstärkend, im dritten gelangen Wellen auch noch durch die Mundhöhle und eustachische Röhre zur Paukenhöhle. — Das Oeffnen des Mundes ist nothwendig, wenn Jemand in der Nähe einer abgeschossenen Kanone steht, damit das Trommelfell nicht blos von den außerhalb, sondern auch von den innerhalb eindringenden starken Schallwellen gleichzeitig und gleich stark getroffen und nicht etwa durch jene einseitig ankommenden verletzt werde.

Die Paukenhöhle hat eine elliptische Form von etwa ⅓ Zoll Durchmesser, enthält Luft von der Spannung der äußeren und vier Knöchelchen: den Hammer, Ambos, das Linsenbein und den Steigebügel, welche hebelartig untereinander verbunden sind. Der Griff des Ham-

mers ist an das Trommelfell angewachsen und theilt die Erschütterungen desselben den übrigen Knöchelchen mit wie bei einem Klingelzuge.

Das in dem Felsenbeine eingeschlossene Labyrinth ist durch zwei mit Häutchen überspannte Oeffnungen: das runde und das ovale Fenster mit der Paukenhöhle verbunden. In letzteres ist durch einen häutigen Saum der Steigebügel eingesetzt. Das Labyrinth selbst besteht aus mehren mit einer Flüssigkeit angefüllten knöchernen Höhlungen, in welche der Gehörnerv in den feinsten Verzweigungen ausläuft; es enthält den Vorhof mit drei bogenförmigen Kanälen, und die Schnecke mit zwei Gängen.

Schon die einfache Wahrnehmung, daß ein ganz leises Geräusch sehr verstärkt wahrgenommen wird, wenn man das Ohr an die Oeffnung einer leeren schneckenförmigen Seemuschel hält, kann uns von der außerordentlich vortheilhaften Einrichtung des Ohres überzeugen.

Daß Zerstörung des Trommelfelles oder eine völlige Verknöcherung desselben, so wie eine Mißbildung der inneren Bestandtheile Taubheit herbeiführen muß, ist klar. Aber man hört selbst mit gesunden Ohren nicht, wenn nicht zugleich die Aufmerksamkeit auf den Schall gerichtet wird. In gleicher Weise gelangen auch andere sinnliche Eindrücke nicht zur Empfindung derselben, wenn nicht gleichzeitig der Geist in der betreffenden Richtung thätig ist. Die Töne entstehen also erst dadurch, daß die Schwingungen mit Bewußtsein empfunden werden.

In physiologischer Beziehung ist noch die Abstumpfung des Gehörsinnes nach andauernder Einwirkung durch einen gewissen Ton bemerkenswerth. Ein ähnlicher Erfolg tritt, wie wir erkennen werden, beim Auge ein, wenn es längere Zeit einer bestimmten Farbe ausgesetzt gewesen ist.

Hält man nämlich von zwei gleichtönenden Stimmgabeln die eine früher vor das eine Ohr, als die andere vor das andere; so ist das zuerst in Anspruch genommene Ohr so abgestumpft, daß man nur noch mit dem anderen deutlich hört. — Hält man die beiden gleich stark tönenden Gabeln gleichzeitig an beide Ohren und drehe man dann nur die eine um ihren Stiel, so hört man nicht abwechselnd beide und dann (nämlich während der Interferenzpausen) nur die eine nicht gedrehte, sondern abwechselnd nur die eine und dann die andere, weil das Ohr, vor welchem die nicht gedrehte Gabel sich befindet, durch das fortwährende Hören des Tones so abgestumpft ist, daß es nur noch während der Interferenzzeiten der anderen Gabel gut zu hören fähig ist.

Diese Abstumpfung zeigt sich bei Gabeln mit verschiedenen Tönen nicht; auch hört man zwar die Koinzidenzstöße, nicht aber einen Kombinationston, wenn in jedem der beiden Fälle die eine Gabel dicht vor das eine, die andere vor das andere Ohr gebracht wird, weil der außerhalb der Ohren erzeugte Kombinationston, vor ihnen angelangt, gegen die kombinirenden Töne zu schwach ist.

Tongesetze.

Nachdem wir über die Entstehung und Wahrnehmung der Töne das Nöthige angeführt haben, wollen wir von den Gesetzen, denen ihre Entstehung und ihr Wesen unterworfen ist, Näheres anführen. Wie die Natur nirgends gesetzlos verfährt, so auch hier nicht und es ist von Interesse, diese Gesetzmäßigkeit zu verfolgen.

a) Tongesetze an Saiten. Es wird dieses zunächst am besten an einer über einem Resonanzboden ausgespannten Saite geschehen, wobei die nöthigen Vorrichtungen angebracht sind, um die Saite durch verschiedene Gewichte zu spannen und zufolge eines eingetheilten Maßstabes und verschiebbaren Steges unter ihr Stücke von ganz bestimmter Länge schwingen zu lassen. Man nennt das Instrument ein Monochord oder den Einsaitler.

1) Ist die Saite lang und wenig angespannt, so kann man die Schwingungen noch zählen. Läßt man von derselben Saite nur die Hälfte schwingen, so macht sie in derselben Zeit doppelt soviele Schwingungen; das Drittel der Saite macht dreimal, das Viertel viermal so viele Schwingungen, als die ganze Saite u. s. w., also überhaupt:

> es verhalten sich die Schwingungszahlen einer bestimmten Saite wie umgekehrt die Längen, welche man von ihr schwingen läßt.

Je kürzer also eine Saite aus einem bestimmten Stoffe von bestimmter Dicke und Spannung ist, einen desto höheren Ton gibt sie.

2) Hat man eine zweite Saite aus demselben Stoffe und von gleicher Länge mit denselben Gewichten gespannt, ist sie aber doppelt so dick, so macht sie nur halb so viele Schwingungen, als die erste; ist sie dreimal, viermal . . . nmal dicker, so ist die Anzahl der Schwingungen nur $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ . . . $\frac{1}{n}$ von der früheren Menge; also allgemein:

> die Schwingungszahlen gleichartiger Saiten von einerlei Länge und Spannkraft verhalten sich wie umgekehrt ihre Dicken.

Man erhält die doppelte Anzahl von Schwingungen entweder durch die Hälfte der Saite oder durch eine halb so dicke, unter übrigens gleichen Umständen.

3) Wenn man von zwei gleichartigen Saiten, welche gleiche Länge und Dicke haben, die eine mit 1 Pfunde, die andere nach einander mit 4, 9, 16, 25 . . . n.n Pfunden spannt; so verhalten sich die Schwingungszahlen der ersten Saite zu denen der zweiten, wie 1 zu 2, 3, 4, 5 . . . n. Da man einen der zwei gleichen Faktoren eines Produktes die Quadratwurzel nennt, so heißt das Gesetz allgemein:

> Bei gleichartigen Saiten von einerlei Länge und Dicke verhalten sich die Schwingungszahlen wie die Quadratzahlen aus den spannenden Kräften.

In Beziehung auf den Stoff, aus welchem die Saiten bestehen, kann man im Allgemeinen sagen, daß die Schwingungszahl mit der Elastizität desselben wächst: unter übrigens gleichen Umständen gibt eine Stahlsaite einen höheren Ton, als eine Messingsaite; diese einen höheren, als eine Darmsaite. Umspinnt man aber eine Darmsaite spiralförmig mit Metallfäden, so wird ihr Ton tiefer oder ihre Schwingungen werden verzögert.

Die diatonische Tonleiter. Nicht jede Reihenfolge von Tönen, welche man hintereinander hervorbringt, macht auf unsere Empfindung durch das Gehör einen angenehmen Eindruck, sondern für jeden Ton, mit welchem man beginnt, nur eine ganz bestimmte und nach mathematischen Richtschnuren gebildete. Der Grund davon liegt in der räumlichen Eintheilung des die Tonwellen fortpflanzenden Stoffes und in der Beschaffenheit unseres Gehörorgans, worin das von Forti so genau untersuchte wunderbare Organ höchst wahrscheinlich zu der Vermittelung der verschiedenen Töne dient. Dem Ohre ist der Mangel an Symmetrie ebenso störend, wie dem Auge. In dem Schneckengange ist nämlich ein aus einer Faserhaut gebildetes Plättchen und dieses trägt eine zahllose Menge, den Tasten eines Klaviers ähnlicher Plättchen, Stäbchen und Zellen, welche wahrscheinlich nicht gleichzeitig bei jedem Tone, sondern einzeln und gruppenweise, jedes bei dem es ansprechenden Tone, in Thätigkeit gerathen. Bei dem Auge ist eine sehr ähnliche Einrichtung auf der Netzhaut desselben.

Läßt man eine Saite zuerst als Ganzes schwingen und dann die Hälfte, welche in derselben Zeit doppelt so viele Schwingungen macht, als die ganze Saite, so machen die beiden Töne, hintereinander oder durch zwei Saiten gleichzeitig hervorgebracht, durch eine gewisse Aehnlichkeit einen angenehmen Eindruck. Die Saitenlängen verhalten sich wie $1 : \frac{1}{2}$, die Schwingungszahlen wie $1 : 2$.

Wir benennen bestimmte Verhältnisse zwischen den Schwingungszahlen zweier Töne der allgemeinen Verständigung wegen mit besonderen Namen und geben den Tönen bestimmte Buchstaben zu ihrer Bezeichnung. In der musikalischen Sprache wird der Buchstabe durch die Note ersetzt. Wird der Grundton mit C bezeichnet, so heißt der zweite, soeben gebildete, seine Oktave und wird durch c ausgedrückt.

Theilt man nun dieselbe Seite in 3 gleiche Theile und läßt davon zwei, also $\frac{2}{3}$ der Saite, tönend schwingen; so heißt der neue Ton die Quinte des ersten und sein Zeichen ist G. — Während der Grundton 1 Schwingung macht, werden von der Quinte $\frac{3}{2}$ vollendet, oder: macht der Grundton 2 Schwingungen, so gehören zur Quinte in derselben Zeit 3. Auch dieser Ton hört sich neben und mit dem Grundton gut an.

Wird ferner die Saite in 4 gleiche Theile getheilt angenommen und läßt man deren drei schwingen, also $\frac{3}{4}$ der ganzen Saite, so ent-

steht ein Ton, welcher in Beziehung auf den Grundton die Quart heißt und mit F bezeichnet wird. Seine Schwingungszahl ist $^4/_3$, wenn die des Grundtones 1 ist, oder 4, wenn die des Grundtones 3 ist.

Nun theilt man die Saite in 5 gleiche Theile und läßt vier davon, also $^4/_5$ der ganzen Saite schwingen und man bekommt die Terz E vom Grundtone der ungetheilten Saite; zu ihr gehört $^5/_4$ als Schwingungszahl.

Die bisher entwickelten Tonverhältnisse sind sehr einfach, nämlich:

C : c = 1 : 2 ist die Oktave,
C : G = 2 : 3 ist die Quint,
C : F = 3 : 4 ist die Quart,
C : E = 4 : 5 ist die Terz. Das Verhältniß von
E : G = 5 : 6 (entstanden aus $^5/_4 : ^3/_2 = ^5/_4 : ^6/_4$) ist von dem Verhältnisse 4 : 5 nicht sehr verschieden, aber etwas kleiner und deshalb nennt man das Tonverhältniß 4 : 5 die große Terz und das Verhältniß 5 : 6 die kleine Terz. Das Verhältniß der drei Töne C, E, G (1, $^5/_4$, $^3/_2$ oder $^4/_4$, $^5/_4$, $^6/_4$, d. i. 4, 5, 6) wird der große Dreiklang, und das der vier Töne C, E, G, c (Grundton, Terz, Quinte, Oktave), zu denen die Zahlen 4, 5, 6, 8 gehören, der C-dur-Akkord genannt. Alle geben, aufeinander oder zusammen gehört, einen ganz befriedigenden Eindruck, welcher im letzten Falle als abgeschlossen erscheint, so daß man zur völligen Abrundung einen neuen Ton nicht mehr erwartet.

Wenn das Zusammenklingen von zwei oder mehren Tönen uns angenehm befriedigt; so nennt man die Töne konsonirende oder harmonische, wenn sie dabei aber Mißbehagen erregen, dissonirende oder disharmonische.

Wenn man die bis jetzt erhaltenen Verhältnißzahlen der Schwingungen, nämlich:

1,	$^5/_4$,	$^4/_3$,	$^3/_2$,	2,	zu gleichnamigen Brüchen macht, so erhält man
$^{12}/_{12}$,	$^{15}/_{12}$,	$^{16}/_{12}$,	$^{18}/_{12}$,	$^{24}/_{12}$,	wofür man als Verhältnißzahlen
12,	15,	16,	18,	24	oder das Doppelte davon
24,	30,	32,	36,	48	mit den Namen
C,	E,	F,	G,	c	setzen kann; so erkennt man bald,

daß in der Reihenfolge der Töne noch zwei größere Lücken sind, nämlich zwischen C und E (24 und 30) und eine noch größere zwischen G und c (36 und 48), während die anderen drei Töne E, F, G einander näher liegen oder gleichmäßigere Zwischenräume, Intervalle, haben.

Man kann von jedem Tone als Grundton ausgehen und die zu ihm konsonirenden, z. B. die Terz, bilden.

Geht man, um zunächst die größere Lücke auszufüllen, von F als Grundton aus und sucht man die verhältnißmäßige Schwingungszahl

seiner Terz, so wird man sagen müssen: F mit seiner Zahl $\frac{4}{3}$ muß sich zu seiner höheren Terz verhalten, wie 4 : 5 oder es muß in der Proportion $4 : 5 = \frac{4}{3} : x$ das letzte Glied x gesucht werden, was $\frac{5}{3}$ ist, denn in der That verhält sich $F : x = \frac{4}{3} : \frac{5}{3} = 4 : 5$. Der neue Ton, zu welchem die Schwingungszahl $\frac{5}{3}$ gehört, wird mit A bezeichnet.

Wenn zur weiteren Ausfüllung zu G, welches die Schwingungszahl $\frac{3}{2}$ hat, die höhere Terz gesucht wird, so muß man in der Proportion $4 : 5 = \frac{3}{2} : y$ das letzte Glied y suchen und findet dafür $\frac{15}{8}$, so daß in der That das Verhältniß $\frac{3}{2} : \frac{15}{8} = \frac{12}{8} : \frac{15}{8} = 12 : 15 = 4 : 5$, eine Terz ist. Der neue Ton mit der Schwingungszahl $\frac{15}{8}$ wird mit H bezeichnet und paßt noch in die Lücke.

Um die kleine Lücke zwischen C und E auszufüllen, kann man von G die höhere Quinte aus der Proportion $2 : 3 = \frac{3}{2} : z$ aufsuchen und findet $\frac{9}{4}$. Dieses ist aber schon über die Gränze der Oktave (2) hinaus; wohl aber ist die zu $\frac{9}{4}$ gehörige nächst niedere Oktave, d. i. die Hälfte davon oder $\frac{9}{8}$, eine Zahl, welche sich zwischen C (1) und E ($\frac{5}{4}$) einreihen läßt und als Ton mit D bezeichnet wird.

Nun ist die vollständige Reihenfolge der

Töne	C, D, E, F, G, A, H, c	und ihrer verhältnißmäßigen
Schwingungszahlen	1, $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{15}{8}$, 2	oder
	24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48	und dazu die
Seitenlängen . . .	1, $\frac{8}{9}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{8}{15}$, $\frac{1}{2}$.	

Wenn man auf dem Monochorde die Eintheilung der Saite nach der Reihenfolge der letzten Zahlen ausgeführt hat und man bringt nacheinander die zu diesen Theilen gehörigen Töne hervor, so empfindet man eine gewisse Befriedigung, indem das Ohr nicht noch neue Töne dazwischen verlangt und es auch ohne ein gewisses Unbehagen nicht gestattet, daß irgendwo ein Ton ausfällt. Die Stufenleiter von diesen acht Tönen bildet die volle Oktave (acht Töne) der diatonischen Tonleiter, gleichgiltig, wie hoch oder wie niedrig der Grundton ist. Die obigen Angaben enthalten also nicht die absoluten, sondern nur die relativen Schwingungszahlen.

Intervalle. Untersuchen wir die sieben Verhältnisse von je zwei benachbarten Tönen dieser Tonleiter, so erhalten wir nicht sieben gleiche Intervalle, sondern drei verschiedene, nämlich 8 : 9, 9 : 10 und 15 : 16.

$$C : D = 1 : \tfrac{9}{8} = 8 : 9,$$
$$D : E = \tfrac{9}{8} : \tfrac{5}{4} = 9 : 10,$$
$$E : F = \tfrac{5}{4} : \tfrac{4}{3} = 15 : 16,$$
$$F : G = \tfrac{4}{3} : \tfrac{3}{2} = 8 : 9,$$
$$G : A = \tfrac{3}{2} : \tfrac{5}{3} = 9 : 10,$$
$$A : H = \tfrac{5}{3} : \tfrac{15}{8} = 8 : 9,$$
$$H : c = \tfrac{15}{8} : 2 = 15 : 16.$$

Das Intervall 8 : 9, welches dreimal vorkommt (von C zu D, F zu G, A zu H), heißt ein **großer ganzer Ton**; das Intervall 9 : 10, welches zweimal erscheint (D zu E, G zu A), ist der **kleine ganze Ton** und 15 : 16, welches zwischen E und F und zwischen H und c stattfindet, ist ein **halber Ton**.

Tonarten. Wenn man zu jedem von diesen Tönen die nächst höhere Oktave bildet, so erhält man die Fortsetzung der diatonischen Tonleiter von c an mit derselben Aufeinanderfolge der Intervalle und die Töne werden der Reihe nach bezeichnet mit c, d, e, f, g, a, h, $\bar{c}$. Das $\bar{c}$ heißt das einmal gestrichene c. Auf dieselbe Weise könnte man mit der Bildung noch höherer Oktaven weiter fortfahren. Man kann nun den Versuch machen, statt von C auch von D und jedem der folgenden Töne auszugehen, um die sieben nächsten hintereinander hervorzubringen; aber nur noch in einem Falle, nämlich wenn man von A ausgeht, werden wir befriedigt, während in allen übrigen ein unangenehmes Gefühl erregt wird.

Die von C beginnende Oktave wird die harte oder **Dur-Tonart** und die von A anfangende die weiche oder **Moll-Tonart** genannt, denn jene hat einen kräftigen, diese aber einen milden und melancholischen Charakter. Wenn man auf die Verschiedenheit der Intervalle des großen und des kleinen ganzen Tones keine Rücksicht nimmt, was wohl geschehen kann, da sie selbst einem geübten Ohre nicht auffällig ist, und wenn man das Intervall des ganzen Tones mit g, das des halben mit h bezeichnet, so hat

die Dur-Tonart die Intervalle g, g, h, g, g, g, h;
die Moll-Tonart die Intervalle g, h, g, g, h, g, g.

Die harte Tonleiter hat in dem großen Dreiklange (C : E : G = 4 : 5 : 6 = 20 : 25 : 30) eine große und dann eine kleine Terz, die weiche aber, zuerst die kleine und dann die große Terz, denn A : c = 5 : 6 = 20 : 24 und c : e = 2 : $\frac{5}{2}$ = 4 : 5 = 24 : 30; also

A : c : e = 20 : 24 : 30.

Die chromatische Tonleiter. Mit den bisher gebildeten Tönen würden wir uns in den beiden Tonarten nur auf zwei Grundtöne, nämlich auf C und auf A (auf c und a, $\bar{c}$ und $\bar{a}$ u. s. w.) beschränken müssen und könnten nicht jeden beliebigen Ton als Grundton für eine der beiden Tonarten annehmen. Der freie Gesang oder das Spiel auf einem Instrumente, auf welchem man sich die einzelnen Töne erst aufsucht, wie z. B. auf der Violine, würde sich allerdings helfen und jeden beliebigen Ton zum Grundtone für eine der beiden Tonarten machen können; aber bei Instrumenten von einer gleichbleibenden Stimmung für jeden einzelnen Ton, wie bei der Orgel, dem Klaviere u. a., müssen in die fünf Intervalle der ganzen Töne von der diatonischen Tonleiter noch Zwischentöne eingeschaltet werden, welche als eine Erhöhung des niedrigeren und als eine Erniedrigung des höheren Tones anzusehen sind.

Zu dieser Einschaltung nimmt man das Verhältniß der großen zur kleinen Terz, nämlich $\frac{4}{5} : \frac{5}{6} : \frac{25}{24}$, welches man den kleinen halben Ton nennt, während $\frac{16}{15}$ der große halbe Ton heißt und multiplizirt damit den niedrigeren Ton des Intervalles, um ihn zu erhöhen, dividirt aber den höheren Ton desselben, um ihn zu erniedrigen. Um z. B. zwischen C und D einzuschalten wird 1 mit $\frac{25}{24}$ multiplizirt, was $\frac{25}{24}$ gibt oder es wird $\frac{9}{8}$ (nämlich D) mit $\frac{25}{24}$ dividirt, was $\frac{25}{24}$ zu $\frac{9}{8} = \frac{27}{25}$ gibt. Man erhält auf diese zweifache Weise allerdings nicht genau denselben Zwischenton, denn es ergibt sich als Unterschied $\frac{27}{25} - \frac{25}{24} = \frac{23}{600}$ und deshalb werden auch die beiden Arten eingeschalteter Töne verschieden benannt, nämlich bei den durch Erhöhung gebildeten setzt man an den erhöhten die Silbe is und bei den durch Erniedrigung entstandenen die Silbe es an den Buchstaben des betreffenden Tones (As für Aes, B für Hes). Nun heißt also die vervollständigte Tonleiter:

C, Cis, D, Dis, E, F, Fis, G, Gis, A, Ais, H, c } für die Erhöhung.

C, Des, D, Es, E, F, Ges, G, As, A, Hes, H, c } für die Erniedrigung.

Wir haben jetzt innerhalb einer Oktave mit 13 Tönen 12 Intervalle und diese Tonleiter heißt die chromatische.

Nun erst läßt sich für jede der beiden Tonarten jeder Ton als Grundton annehmen, um die ihr zukommende Aufeinanderfolge der Intervalle zu erhalten. — Am Klaviere sind die fünf Zwischentöne durch die etwas höher gestellten und durch die Farbe von den anderen ausgezeichneten Tasten angegeben.

Die Temperatur. Wollte man zur weiteren Bildung von Tönen, statt von jedem einzelnen Tone der diatonischen Tonleiter die höheren Oktaven zu nehmen, in lauter reinen Intervallen dieser Tonleiter fortschreiten; so würde man reine Oktaven nicht bekommen. Schreiten wir z. B. in reinen Terzen von c als Grundton mit der Schwingungszahl 1 aufwärts, so ist die erste Terz, c : e nämlich, $\frac{5}{4}$, die Schwingungszahl der zweiten (nämlich e : gis) ist $\frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4} = \frac{25}{16}$, die der dritten (gis : $\bar{c}$) ist $\frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4} = \frac{125}{64}$, welches nicht die reine Oktave 2 oder $\frac{128}{64}$ von 1 ist, sondern etwas größer.

Will man also für den weiteren Fortschritt der Töne die Reinheit der Oktaven erhalten, so muß man von der vollkommenen Reinheit der Intervalle absehen und man muß die Töne einwenig oberhalb oder unterhalb dieser Reinheit schweben lassen, was man die Temperatur der Töne nennt.

Da schon die Intervalle der ganzen Töne in der diatonischen Tonleiter verschieden waren (nämlich 8 : 9 und 9 : 10), so sind es auch die der eingeschalteten in der chromatischen Tonleiter. Wenn man aber die 12 Intervalle einer Oktave unter die 13 Töne der Tonleiter gleichmäßig

vertheilt, was durch fortgesetzte von dem C oder 1 beginnende Multiplikation mit 1,05946 (nämlich $\sqrt[12]{2}$) geschieht und wenn man dann von jedem so gebildeten Tone der Tonleiter in lauter reinen Oktaven weiter aufwärts geht; so erhält man die gleichschwebende Temperatur, welche bei den Instrumenten von bestimmter Stimmung anzuwenden ist. Wenn aber die Stimmung in Beziehung auf gewisse Töne als Grundtöne reiner ist, als in Beziehung auf andere Grundtöne, so heißt die Temperatur ungleichschwebend. Obwohl bei jener die Stimmung in Beziehung auf keinen Ton als Grundton rein ist, also z. B. reine Terzen und Quinten darin nicht enthalten sind; so ist der Unterschied doch so unmerklich, daß er das Ohr nicht unangenehm berührt. Es ist z. B. in der reinen oder ungleichschwebenden Temperatur das Verhältniß der großen Terz c : e = 4 : 5 = 100 : 125; in der gleichschwebenden aber etwas größer, nämlich 100 : 126.

Die folgende Tabelle gibt die Uebersicht des Verhältnisses der beiden Temperaturen für die Töne einer Oktave an, wobei die Schwingungszahl und Saitenlänge des Grundtones mit 1 bezeichnet ist. Die Zahlen für die ungleichschwebende Temperatur rühren von Kirnberger her.

Töne.	Gleichschwebende Temperatur.		Ungleichschwebende Temperatur.	
	Schwingungszahlen.	Saitenlängen.	Schwingungszahlen.	Saitenlängen.
c	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
cis	1,05946	0,94378	1,05349	0,94922
d	1,12246	0,89090	1,12500	0,88889
dis	1,18921	0,84090	1,18518	0,84375
e	1,25992	0,79370	1,25000	0,80000
f	1,33484	0,74915	1,33334	0,75000
fis	1,41421	0,70710	1,40625	0,71112
g	1,49831	0,66742	1,50000	0 66667
gis	1,58740	0,62996	1,58024	0,63281
a	1,68179	0,59461	1,67702	0,60250
b	1,78180	0,56123	1,77778	0,56250
h	1,88775	0,52973	1,87500	0.53334
$\overline{c}$	2,00000	0,50000	2,00000	0,50000

Das Komma. Wenn man die Schwingungsverhältnisse von dem Intervalle des großen ganzen und des kleinen ganzen Tones vergleicht,

so bekommt man ein neues Verhältniß, welches das **syntonische Komma** heißt. Es ist dasselbe also $^{10}/_{9} : {}^{9}/_{8} = {}^{80}/_{72} : {}^{81}/_{72} = 80 : 81 = {}^{81}/_{80}$.

Das Verhältniß zwischen dem kleinen halben und großen halben Tone heißt **Diësis** und ist $^{25}/_{24} : {}^{16}/_{15} = {}^{125}/_{120} : {}^{128}/_{120} = 125 : 128 = {}^{128}/_{125}$.

Geht man von c = 1 aus in 12 reinen Quinten aufwärts bis in die siebente Oktave, oder nimmt man die Töne c, g, d, a, e, h, fis, cis, gis, dis, ais, eis, his; so erhält man für das his die verhältnißmäßige Schwingungszahl $^{531441}/_{4096}$, wenn man die für die erste Quint, nämlich $^{3}/_{2}$, als Faktor 12mal setzt und die 11 Multiplikationen ausführt. Geht man nun von dem so erhaltenen his aus um 6 Oktaven zurück, oder von 1 um 6 Oktaven aufwärts, wodurch man $^{1}/_{2} \cdot {}^{1}/_{2} \cdot {}^{1}/_{2} \cdot {}^{1}/_{2} \cdot {}^{1}/_{2} \cdot {}^{1}/_{2} = {}^{1}/_{64}$ erhält; so bekommt man nicht die Oktave $\bar{c}$ oder 2 von c oder 1, sondern $^{1}/_{64} \cdot {}^{531441}/_{4096} = {}^{531441}/_{262144}$, welches größer als 2 ist und einen höheren Ton anzeigt, indem die reine Oktave nur $2 = {}^{524288}/_{262144}$ ist. Der Unterschied des Tonverhältnisses der reinen Oktave und des so erhaltenen his heißt das **ditonische Komma** und gibt an, um wie viel his erhöht werden muß, um $\bar{c}$ zu geben.

Diese Bemerkungen mögen hinreichen, um denjenigen als Anhaltspunkte zu dienen, welche die Musik zu einem besonderen Studium machen wollen.

Absolute Schwingungszahl der Töne. Weiß man für einen einzigen bestimmten Ton seine Schwingungszahl, und wir haben bereits in der Syrene ein Instrument zu deren Auffindung angegeben; so lassen sich mittelst der jetzt bekannten Verhältnißzahlen für die Schwingungen der verschiedenen musikalischen Töne auch die zu ihnen gehörigen absoluten Schwingungszahlen berechnen. — Gehörten z. B. zu dem ungestrichenen a (auf der Violine durch die A-Saite angegeben) $217\,{}^{1}/_{2}$ ganze Schwingungen (Stöße der Saite) und wollte man von ihm die kleine Terz $\bar{c}$, nämlich das einmal gestrichene c bilden; so braucht man in der Proportion $5 : 6 = 217\,{}^{1}/_{2} : x$ nur das letzte Glied zu berechnen, welches gleich 261 gefunden wird, also macht $\bar{c}$ 261 ganze Schwingungen, während a deren nur $217\,{}^{1}/_{2}$ vollendet.

In den musikalischen und zum Theil in den physikalischen Werken rechnet man meistens nach halben Schwingungen, so daß für a, wie es jetzt in Frankreich und demnach auch anderwärts angeordnet ist, 435 als Schwingungszahl angegeben wird. Wissenschaftlich richtig ist dieses nicht, weil durch eine solche halbe Schwingung von der Tonwelle entweder nur der verdichtete oder der verdünnte Theil, also niemals eine ganze Welle gebildet wird.

Das pariser Konservatorium zählte für a früher 433,35, die große Oper 431, die italienische 424, die berliner 437 (Kammerstimmung 441,62, in Wien 440,87) Schwingungen in einer Sekunde.

Die Gleichmäßigkeit der Stimmung in verschiedenen Ländern ist namentlich wegen der mit Instrumenten von bestimmter Tonhöhe reisenden Virtuosen und selbst für die Sänger sehr erwünscht und man kann es sich schon gefallen lassen, wenn Louis Napoleon in dieser Beziehung der Tonangeber gewesen ist.

Lassen wir 435 als Schwingungszahl für a gelten, so sind für die Töne der diatonischen Tonleiter innerhalb dieser Oktave zu den Tönen

c, d, e, f, g, a, h, $\bar{c}$, die Zahlen
261, 293$^{5}/_{8}$, 326$^{1}/_{2}$, 348, 391$^{1}/_{2}$, 435, 489$^{3}/_{8}$, 522 gehörig.

Auch für die niedrigeren und höheren Oktaven lassen sich nun leicht die absoluten Schwingungszahlen berechnen.

Es ist bekannt, daß man bei dem Flügelschlage mancher Vögel (Rebhühner) und Insekten (Käfer, Fliegen und Schmetterlinge) gewisse Töne hört, welche sogar bei bestimmten Thiergattungen von bestimmter Höhe sind. Berechnet man aus der Tonhöhe die Schwingungszahl, so muß man erstaunen, wie es möglich ist, daß das Thier deren so viele in einer Sekunde vollführen kann.

Tonwellendicke. Wenn man die Anzahl der zu einem bestimmten Tone gehörigen Schwingungen und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselben in der Luft weiß, so läßt sich nach den früheren Angaben die Dicke jeder einzelnen Tonwelle der Luft berechnen. Nehmen wir der leichteren Rechnung wegen $1024' = 32 . 32'$ als die Geschwindigkeit des Schalles an und 16 als die mindeste Anzahl von Stößen oder ganzen Schwingungen (bestehend aus Hin- und Rückweg) in einer Sekunde, um den in der Musik brauchbaren tiefsten Ton zu erzeugen; so ist die Dicke der ganzen Schallwelle, welche aus einem verdichteten und verdünnten Theile besteht, gleich $16 : 32 . 32' = 64'$ oder sowohl die Verdichtungs-, als auch die Verdünnungswelle 32 Fuß. Diesen Ton, $\underline{\underline{C}}$, das Subkontra-C, nimmt man als tiefsten einer 32 Fuß langen und offenen Orgelpfeife wahr, in welcher beim Tönen immer nur eine einzelne Verdichtungs- mit einer Verdünnungswelle abwechselt. In ihrer Mitte ist die Stelle der stärksten Verdichtung und Verdünnung, also der Knoten; von da bis an die Enden je eine Viertelwelle.

Geht man von diesem Tone vor- und rückwärts, so erhält man folgende Tabelle:

Anzahl der Stöße in 1 Sekunde.	Dicke der ganzen Tonwelle.	Name des Tones.
1	1024 Fuß	
2	512 „	
4	256 „	
8	128 „	
16	64 „	$\underline{\underline{C}}$, das Subkontra-C.
32	32 „	$\underline{C}$, das Kontra-C.
64	16 „	C, das große C.
128	8 „	c, das ungestrichene (kleine) c.
256	4 „	$\bar{c}$, das einmal gestrichene c.
512	2 „	$\bar{\bar{c}}$, das zweimal gestrichene c.
1024	1 „	$\overline{\overline{\overline{c}}}$, das dreimal gestrichene c.
2048	6 Zoll	$\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}$, das viermal gestrichene c.
4096	3 „	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}}$, das fünfmal gestrichene c.
8192	1,5 „	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}}}$, das sechsmal gestrichene c.

Wenn auch bei Stimmgabeln für 36000 Schwingungen in einer Sekunde noch ein Ton und selbst bei 48000 unter Anwendung einer Syrene noch eine Art Schall wahrgenommen werden kann; so sind in der Musik doch nur die Töne kaum bis zu 8192 in der oberen Gränze und von 16 Stößen an in der unteren Gränze brauchbar; also kaum der Umfang von 9 Oktaven. Die Ohren verschiedener Menschen haben freilich für die Gränzen der Wahrnehmbarkeit eine verschiedene Gränze.

Aus dieser Darstellung erkennen wir ferner, daß die Tonwellen, selbst bei den höchsten und in der Musik kaum noch brauchbaren Tönen, eine noch ziemlich bedeutende Dicke haben. Die Folgen davon sind, daß die Schallwellen auch von unebenen Flächen noch leicht so zurückgeworfen werden, daß wir noch die richtige Vorstellung von dem ursprünglichen Schalle haben. Zur wirksamen Zurückwerfung der Lichtwellen gehört wegen ihrer Kleinheit eine weit glattere Fläche; wir haben also leichter ein Echo, als ein Bild durch Zurückwerfung. — Ferner folgt daraus, daß wir uns der Richtung des Schallstrahles weniger leicht bewußt werden, als der des Lichtstrahles: wir erkennen also eher den Entstehungsort des Lichtes, als den des Schalles. — Endlich wird eine Schallwelle auch leichter durch eine dicke Wand gehen und jenseits eher einen wirksamen Eindruck erregen, als eine Lichtwelle.

Aus den obigen Betrachtungen ergibt sich übrigens noch Zweierlei:

1) die Dicke einer ganzen Tonwelle ist gleich dem Raume, den der Schall während der Dauer einer ganzen Schwingung des schallenden Körpers durchlauft, und
2) die Wellendicken stehen im umgekehrten Verhältnisse mit den Schwingungszahlen.

Wechselnde Tonhöhe. Einen bestimmten Ton nimmt man nur dann in der zu seiner Schwingungszahl oder in der zur Dicke seiner Wellen gehörigen Höhe wahr, wenn sowohl die Tonquelle, als auch der Beobachter in Ruhe sind. Nähert sich aber eines dem anderen oder kommen beide recht rasch einander näher, wie es beim Fahren auf Eisenbahnen geschehen kann; so wird der Ton höher, weil dadurch jede einzelne das Ohr treffende Tonwelle verkürzt wird, es also den Anschein hat, als würden in derselben Zeit mehr Tonwellen erzeugt. Findet aber ein Zunehmen der Entfernung zwischen Tonquelle und Beobachter statt, so wird der Ton tiefer, weil die Dicke der Tonwellen zunimmt. Im ersten Falle vermehrt sich, im zweiten vermindert sich die Anzahl der in einer bestimmten Zeit von demselben Beobachter empfundenen Wellen oder es würden im ersten Falle mehr, im zweiten weniger Tonwellen auf einen bestimmten Raum gehen, als wenn Tonquelle und Beobachter ruheten.

Obertöne. Eine Saite gibt nicht nur, wenn man eine Eintheilung derselben in lauter gleiche Theile erzwingt und solcher Theile eine bestimmte Anzahl schwingen läßt, für die Musik brauchbare Töne, sondern sie leistet dieses sogar wunderbarer Weise freiwillig, wenn uns auch diese Freigebigkeit in der Musik nicht grade immer willkommen ist, da wir hier nur ganz bestimmte Töne gebrauchen wollen.

Um die Erscheinung möglichst deutlich wahrzunehmen, bringt man eine lange und mäßig gespannte Saite zum Tönen. Wenn der von der ganzen Saite gegebene Ton, z. B. C, an Stärke nachläßt, so hört man vernehmlich noch seine Oktave c, die Oktave seiner Quinte (also g), die Doppeloktave $\bar{c}$ und die Doppeloktave der großen Terz, d. i. $\bar{e}$ und ein sehr geübtes Ohr gegen das Verklingen noch $\bar{g}$. Die Oktaven treten wegen ihrer großen Uebereinstimmung mit dem Grundtone weniger deutlich, aber ganz entschieden hervor.

Untersucht man die zu diesen Tönen gehörigen Saitenlängen, so findet sich die merkwürdige Thatsache, daß die Saite nicht nur als Ganzes schwingt, sondern gleichzeitig ihre Hälften, Drittel, Viertel, Fünftel, Sechstel und wahrscheinlich noch kleinere Theile, was wir durch das Gehör freilich nicht entscheiden können; denn zu den Tönen C, c, g, $\bar{c}$, $\bar{e}$, $\bar{g}$ gehören der Reihe nach die Saitenlängen 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$. Es ist wohl klar, daß diese Obertöne so lange nicht hörbar sind, als der Grundton noch stark genug ist, und daß sie für hohe Grundtöne zu hoch liegen, als daß sie bei ihnen wahrgenommen werden

könnten; aber ebenso klar ist es, daß sie bei schwachen und tiefen Grundtönen auf ihre Reinheit einen nachtheiligen Einfluß haben, wenn man eben nur die Grundtöne verwenden will. — Ein anderer Umstand ist es, wenn sie bei der Aeolsharfe erscheinen und hier zur Stärkung des beabsichtigten Erfolges beitragen. — Auch bei den Stimmgabeln lassen sich die Obertöne wahrnehmen.

Flageolettöne. Es gibt ein wirksames Mittel, solche Obertöne für gewisse Fälle auszuschließen: nämlich man denkt sich die Saite in lauter gleiche Theile getheilt, berührt einen von den Theilungspunkten mit einer Fingerspitze und streicht mit dem Violinbogen die Mitte des ersten Theiles an. Dadurch werden alle gleichen Theile mitzutönen, die Theilungspunkte aber zu ruhen gezwungen und somit sind alle diejenigen Töne als mitklingende ausgeschlossen, bei welchen die Knotenstellen sonst mitschwingen würden. Etwaige Obertöne von den erhaltenen und tönenden Theilen der Saite verschwinden aber, weil die Töne selbst hoch sind. Auf diese Weise wird nicht nur ein höherer Grad von Reinheit der Töne, sondern auch von durchdringender Kraft erreicht, da zwei oder mehre Theile der Saite gleichzeitig denselben Ton vernehmen lassen.

Obwohl ein geschickter Spieler selbst auf einer einzelnen Saite durch geeignetes Abkürzen derselben bei Berührung einer Knotenstelle eine ziemlich große Menge solcher rein und scharf klingenden Flötentöne hervorbringen kann, so sind sie doch nur einzeln und nicht zu ganzen Musikstücken zu verwenden, weil es an tieferen Tönen der Art, namentlich auf der Violine, fehlt. Paganini hat im Gefängnisse, nachdem ihm die höheren Saiten nach und nach gesprungen waren und er nur noch die G-Saite hatte, zwar ein ganzes Musikstück für das Spiel auf ihr komponirt, aber es kommen außer den Flageolettönen noch viele andere darin vor.

Das Zusammenwirken von Tönen.

Es ist nicht nur theoretisch interessant, sondern auch praktisch wichtig zu untersuchen, welche Erscheinungen und warum sie eintreten, wenn zwei oder mehre Töne an demselben Orte gleichzeitig erregt werden. Von den Koinzidenzen und Interferenzen gleichstimmiger Töne haben wir bereits das Nöthige früher (Bd. II., S. 37) angeführt; jetzt haben wir noch die Erfolge bei zwei verschiedenen Tönen zu untersuchen, welche aber recht rein und anhaltend hervorgebracht werden müssen, wie namentlich durch Orgelpfeifen, Stimmgabeln und selbst menschliche Stimmen.

Bei der Bildung eines Tones durch Stöße von gleicher Dauer, welche auf die den Schall fortpflanzende Luft ausgeübt werden, ist festzuhalten, daß von jedem Stoße eine ganze Welle, bestehend aus einem verdichteten und verdünnten Theile, gebildet wird, daß alle Wellen, sowie ihre Hälften, bei jedem bestimmten Tone dieselbe Dicke haben, und

daß das Fortschreiten nicht nur für alle Wellen desselben Tones, sondern auch für die Wellen verschiedener Töne dasselbe ist. Jeder einzelne Stoß bildet einen vom Erregungspunkte ausgehenden gleichmäßig fortschreitenden Wellenzug und der von jedem nachfolgenden Stoße erregte Wellenzug wird auf den vorangegangenen so folgen, daß die Stellen der größten Verdichtungen von je zwei benachbarten Wellen, welche also zwei verschiedenen, aber aufeinander unmittelbar folgenden Zügen angehören, stets gleich weit von einander entfernt sind.



(Fig. 326.)

Nehmen wir an, daß von a an (Fig. 326) zwei Wellenzüge erregt werden, und zwar der eine durch 4 Schwingungen in einer gewissen Zeit, der andere durch 5 Schwingungen in derselben Zeit; daß die Erhebungen der krummen Linien über die grade Linie ac den verdichteten, die Senkungen derselben unter sie den verdünnten Theil der Schallwellen bedeuten; so ist nothwendig, daß, wenn von dem ersten Wellenzuge in einem gewissen Raume ao oder oc vier Wellen enthalten sind, von dem anderen Zuge in demselben Raume gleichzeitig fünf Wellen vorkommen. Die ersteren sind durch die starken, die letzteren durch die schwachen Linien angedeutet.

Es fällt sofort in die Augen, daß die Stellen der größten Verdichtung beider Züge von a an sich mehr und mehr entfernen, daß sie zu beiden Seiten von r sich am meisten entfernt haben, daß sie von da an aber wieder einander näher kommen, bis sie zu beiden Seiten von o einander am nächsten sind und daß von o bis zu c derselbe Vorgang stattfindet, wie von a bis o.

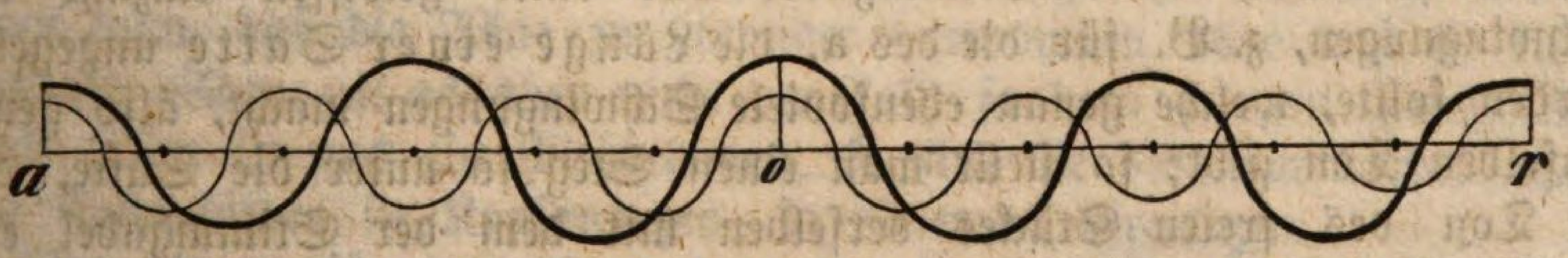
Dadurch, daß die Stellen der größten Verdichtung mehr und mehr zusammentreffen, wird auf unser Gehörorgan eine Verstärkung des Eindruckes und dadurch, daß die Verdichtungsstellen des einen Zuges mehr und mehr mit den Verdünnungsstellen des anderen zusammentreffen, wird eine Abschwächung hervorgebracht, welche hier aber nicht in eine völlige Aufhebung übergehen kann, weil niemals ein Zusammentreffen beider genau in denselben Punkten eintritt.

Der Eindruck, welchen wir durch das Zusammenwirken zweier gleichzeitig hervorgebrachten Töne mit verschiedenen Schwingungszahlen erhalten, besteht also in einer hinzukommenden dritten Erscheinung, welche uns abwechselnd eine Abschwächung und Verstärkung des Schalles, also eine Reihenfolge von S t ö ß e n, vernehmen läßt.

Wenn zu dem einen Tone 100 Schwingungen in einer Sekunde gehören, zu dem zweiten aber 101, so wird in dieser Zeit nur 1 Verstärkung oder nur 1 Stoß gehört. — Kommen auf 100 Stöße des einen 102 des anderen, so wird schon jede fünfzigste Verdichtung des ersten Tones verstärkt und wir hören in der Sekunde 2 Stöße. — Macht der eine Körper 100, der andere in einer Sekunde 105 Schwingungen, so werden 5 Stöße gebildet, indem auf je 20 Wellen des einen 21 des anderen kommen, also jede zwanzigste Verdichtungswelle von jenem durch die einundzwanzigste von diesem verstärkt wird.

Wir können also behaupten: je weiter zwei Töne auseinander liegen, desto häufiger folgen die von ihnen erzeugten Anschwellungen und Stöße aufeinander und **ihre Anzahl ist dem Unterschiede der Schwingungszahlen der erregenden Töne gleich.**

Hiermit ist nun die Möglichkeit gegeben, daß durch zwei verschiedene Töne, welche gleichzeitig recht rein hervorgebracht werden, ein ganz neuer dritter Ton und zwar nur in der Luft erzeugt wird, wenn nämlich die Kombinationsstöße so schnell aufeinander folgen, daß sie einen Ton geben können. Wenn wir nach der Quelle dieses nach **Tartini** benannten Tones forschen so werden wir nicht auf die beiden tonerregenden Körper hingewiesen, sondern wir finden sie an allen Orten in der Luft, wo nur die Stöße noch stark genug gebildet werden; wir sind gewissermaßen ringsum eingeschlossen von der neuen Tonquelle und daher versetzen wir sie auch schließlich in unser Gehörorgan, obwohl dies nicht so gemeint ist, als wäre die Erscheinung nur eine subjektive; sie ist in der That objektiv. Dieses kann auch leicht erkannt werden, wenn man ein dünnes Häutchen über eine Pfeife spannt, welche den Kombinationston räsonirt, denn der Sand wird durch die Tonschwingungen der Luft in der Pfeife in die Höhe geworfen. Hat man eine den neuen Ton ansprechende Haut, so braucht man nicht einmal die Pfeife, um zu erkennen, daß der tartinische Ton seine Quelle in der Luft hat.



(Fig. 327.)

Bringt man gleichzeitig mit dem Tone c seine Quinte g hervor, Töne, deren Schwingungszahlen sich wie 2 zu 3 verhalten; so wird, wie es Fig. 327 deutlich zeigt, jede zweite Verdichtungswelle des ersten Tones durch jede dritte des zweiten verstärkt und es entstehen halb so viele Verstärkungsstöße, als in den Tonwellen des c gleichzeitig Verdichtungswellen vorhanden sind; also ist die Schwingungszahl des neuen Tones nur halb so groß, als die des c und somit ist der Kombina-

tionston die nächst tiefere Oktave C des c. Die Zeichnung gibt vier ganze Wellen des c und sechs Wellen des g an; bei o und r treffen die Verdichtungen beider zusammen.

$\bar{c}$ und $\bar{e}$, deren Verhältniß 4 : 5 ist, geben auch C, also die zweite niedere Oktave des tieferen Tones, weil jede vierte Verdichtungswelle des ersten Tones durch jede fünfte des zweiten verstärkt wird, also viermal weniger neue Stöße entstehen, als zu $\bar{c}$ Verdichtungswellen gehören.

Solche Töne können nur in der ungleichschwebenden Temperatur, also bei ganz rein konsonirenden Intervallen, entstehen. Gehörten $\bar{c}$ und $\bar{e}$ der gleichschwebenden Temperatur an, so würde als neuer Ton fast Cis und nicht C entstehen.

Aus b und $\bar{f}$ (2 : 3) wird B, ebenso aus $\bar{f}$ und $\bar{b}$ (3 : 4), aus b und d (4 : 5) wird $\underline{B}$, ebenso aus d und $\bar{f}$ (5 : 6), $\bar{f}$ und $\overline{as}$ (6 : 7), $\overline{as}$ und $\bar{b}$ (7 : 8).

Ob nun die von zwei Orten ausgehenden Schwingungen sich miteinander in der Luft zu einem Ton zusammensetzen oder in einem anderen Stoffe, ist ganz gleichgiltig. Die Töne der Telegraphenstangen (Bd. II., S. 103) zeigen uns, daß auch das Holz der Stoff sein kann; nur daß in diesem Beispiele zugleich die Richtung der Schwingungen in Beziehung auf die Abmessungen der Körper umgewandelt worden ist: in den Drähten finden nämlich Querschwingungen, in den Stangen aber Längenschwingungen statt.

Die Kombinationstöne sind nicht nur beim Orgelspielen brauchbar, sondern sind sehr nützlich beim Stimmen der Orgelpfeifen, weil man erst bei ihrem Entstehen auf die erlangte vollkommene Reinheit gewisser Intervalle rechnen kann.

Man kann durch Stöße leicht die genaue Länge einer Saite finden, welche einen ganz bestimmten Ton geben soll oder man kann durch Stöße Saiten stimmen.

Wenn nach einer Stimmgabel mit einer gewissen Anzahl von Schwingungen, z. B. für die des a, die Länge einer Saite angegeben werden sollte, welche genau ebensoviele Schwingungen macht, also genau denselben Ton gibt; so stellt man einen Steg so unter die Saite, daß der Ton des freien Stückes derselben mit dem der Stimmgabel eine gewisse Anzahl von Stößen in 1 Sekunde gibt. Wenn zur Gabel 217 Schwingungen gehören und es entständen 3 Stöße, so ist es noch unentschieden, ob die Saite 220 oder 214 Stöße macht. Man wird aber an der Saite sehr leicht eine zweite Stelle auffinden, bei deren Unterstützung die Saite wieder 3 Stöße mit der Gabel gibt und nun ist der Zwischenpunkt für die gesuchte Saitenlänge leicht gefunden.

Beim Klaviere wird man eine Saite nach der Stimmgabel natürlich durch vermehrte oder verminderte Spannung stimmen und dabei berücksichtigen müssen, daß bei Vermehrung der Stöße der Ton der Saite

sich von dem der Gabel entfernt, daß man also entgegengesetzt so lange zu drehen hat, bis Stöße nicht mehr gehört werden.

Die Kombinationsstöße lassen sich ferner zur Auffindung der absoluten Schwingungszahl eines bestimmten Tones verwenden. Will man die Schwingungszahl z. B. für das a einer Stimmgabel finden, so läßt man sich eine ganze Menge von Gabeln machen (Scheibler hatte 52), deren Töne in der Oktave zwischen a und $\overline{a}$ liegen, läßt je zwei aufeinander folgende zusammen tönen, zählt die in einer Sekunde hervorgebrachten Stöße ganz genau, addirt alle Stöße und dividirt die Summe durch 2. Je mehr Gabeln man nimmt, desto genauer wird das Resultat bei gleich guter Zählung der Stöße, die für je zwei benachbarte auch wiederholt vorgenommen werden muß, um aus allen das Mittel zu nehmen. Zur Messung der Zeit ist ein Chronometer erforderlich. — Das Verfahren ist deshalb richtig, weil die Anzahl der Stöße zweier Gabeln der Unterschied ihrer Schwingungszahlen, also die Summe aller Stöße auch der Unterschied der Schwingungszahlen der beiden äußersten Töne ist, die um eine Oktave von einander ablagen.

Wenn man bei Kirchenglocken, wie es namentlich bei großen häufig der Fall ist, ein abwechselndes An- und Abschwellen wahrnimmt; so rührt dies davon her, daß sich die Glocke beim Tönen in Theile mit Knotenlinien zerlegt und daß diese Theile wegen des nicht genau gleichförmigen Gusses auch nicht genau dieselben Schwingungszahlen besitzen, wodurch also diese Stöße entstehen müssen.

Hat von zwei gleichstimmigen Pfeifen die eine einen Stempel, welcher sich recht allmählig hineinschieben läßt, wodurch der Ton erhöht wird; so ist es interessant wahrzunehmen, wie die Anzahl der Stöße sich allmählig vermehrt, wenn die Töne sich allmählig von einander entfernen und wie endlich der Kombinationston entsteht.

Konsonanzen, Dissonanzen. Wenn unser Gefühl bei dem Zusammenhören von zwei oder mehren Tönen angenehm befriedigt wird, so sagt man, daß die Töne zu einander harmoniren oder daß sie eine Harmonie bilden; ist es aber nicht der Fall, sondern erregen gleichzeitig gehörte Töne in uns ein Mißbehagen, so sind sie disharmonische. In jenem Falle bilden sie Konsonanzen, in diesem Dissonanzen.

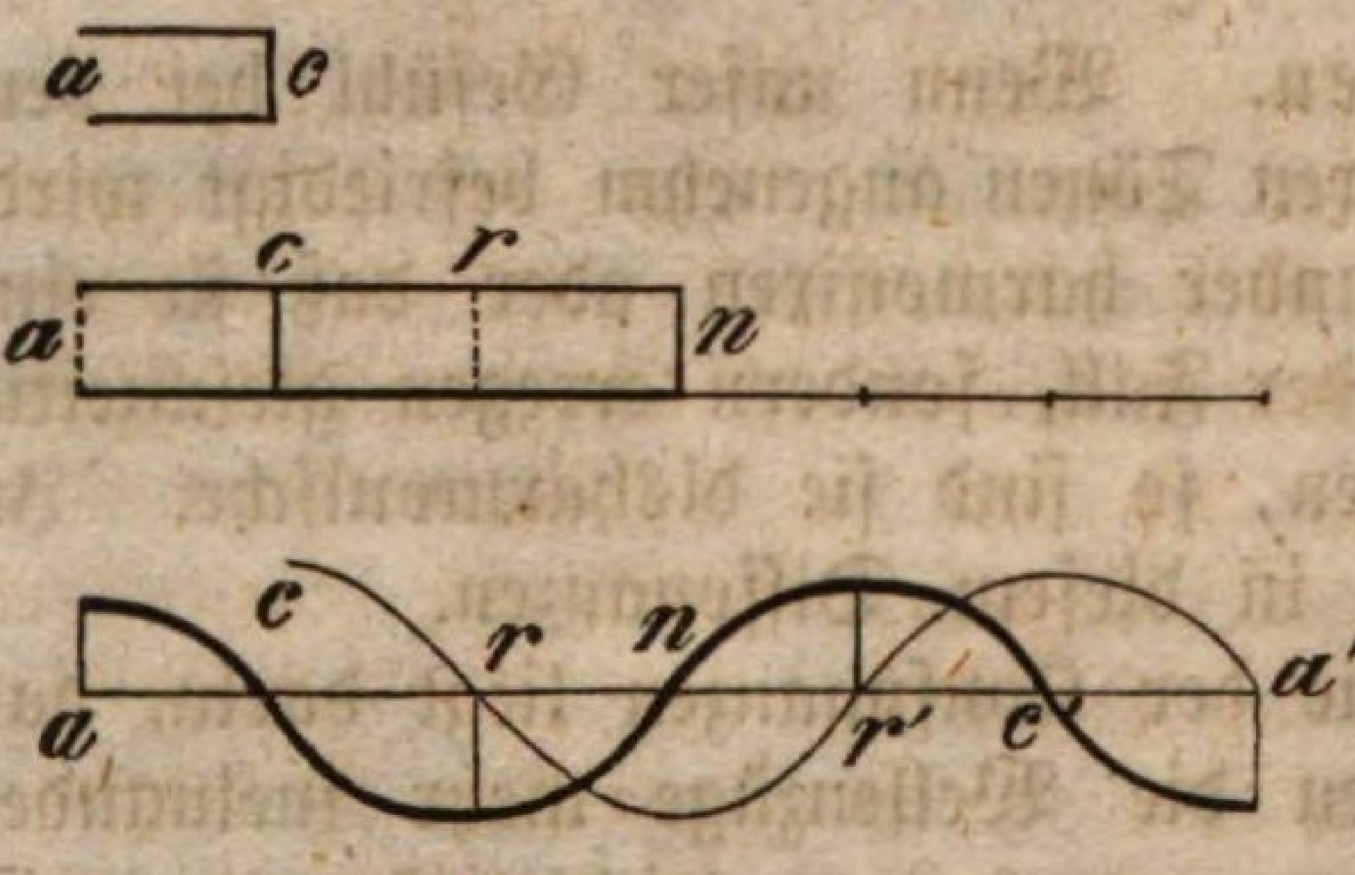
Der Grund für das Angenehme der Konsonanzen liegt darin, daß bei den sie hervorbringenden Tönen die Wellenzüge mehr ineinander übergehen und ineinander verschwimmen, was man leicht erkennt, wenn man für dieselben die in den Fig. 326 und 327 gewählte Darstellungsweise nimmt. Es ist bei ihnen eine räumlich symmetrische Eintheilung zu erkennen, welche das Ohr in gleicher Weise befriedigt, wie ein symmetrisches Bauwerk das Auge. Bei den dissonirenden Tönen gehen dagegen die Wellenzüge mehr verworren durcheinander, so daß unser Ohr durch sie gewissermaßen zerrissen wird.

b) Tongesetze bei Pfeifen. Nachdem wir an Saiten die gesetzmäßige Entwickelung der Töne und ihre Verhältnisse haben kennen gelernt, wird es keine Schwierigkeiten haben, die Beziehung der stehenden Schwingungen von Luftsäulen, welche in irgend einem festen Körper eingeschlossen sind und Pfeifen genannt werden, zu der Höhe der dadurch hervorgebrachten Töne genauer zu untersuchen.

Die Pfeifen können entweder offene sein, d. h. an ihren beiden Enden mit der äußeren atmosphärischen Luft in Verbindung stehen, oder gedeckte, welche an dem einen Ende verschlossen oder gedeckt und nur an dem Ende offen sind, an welchem die Luftsäule zu Schwingungen erregt wird. Bei jenen wird die Luftsäule in Spannung erhalten durch den von beiden Seiten von der Atmosphäre ausgeübten Druck und sie sind mit den an beiden Enden gespannten Saiten oder an beiden Enden festgehaltenen Stäben zu vergleichen; diese dagegen haben Aehnlichkeit mit den Stäben, welche nur an dem einen Ende befestigt sind. Zu dieser Vergleichung berechtigt auch die beim Tönen eintretende Eintheilung der Pfeifen in gleiche Theile, indem die offenen sich nach den graden, die gedeckten nach den ungraden Zahlen eintheilen.

Wir sind bereits im Stande, die Dicke der zu jedem bestimmten Tone gehörigen Welle anzugeben. Nehmen wir nun eine Reihe von gedeckten Pfeifen, deren Länge $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{7}{4}$ u. s. w., überhaupt ein ungrades Vielfaches von einem Viertel der betreffenden Tonwelle beträgt; so hört man, während man den Ton außerhalb der Pfeife hervorbringt, in allen Fällen denselben Ton aus der Pfeife, welcher aber sofort aufhört, wenn der erregende Ton nicht mehr hervorgebracht wird.

Diese Erscheinung ist nur dadurch möglich und erklärlich, daß sich in der Pfeife durch Zurückwerfung der Schwingungen vom Boden derselben stehende Wellen bilden.



(Fig. 328.)

Nehmen wir zunächst an, die Pfeifenlänge ac (Fig. 328) betrage ein Viertel der Wellendicke. Kommt der verdichtete Theil der Tonwelle an der Mündung a der Pfeife an, so drängt er die Luft von a nach dem Boden c hin mit verzögerter Geschwindigkeit wegen des Widerstandes der vorwärts befindlichen Luft, wobei die Wege der Lufttheilchen um so kürzer werden, je näher sie dem Boden liegen und die Verdichtung nach dem Boden hin während des ersten Viertels der Schwingung wächst. Wegen der Elastizität der Luft erfolgt nun eine rückgängige Bewegung aller Lufttheilchen nach ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage mit beschleunigter Geschwindigkeit und wenn jedes in seiner alten Lage angekommen ist, so ist die

erste Hälfte der Schwingung vollendet. Da aber jedes Lufttheilchen daselbst mit einer der erlittenen Druckkraft angemessenen Geschwindigkeit angekommen ist, so setzt es den Weg darüber hinaus ebenso weit, als es jenseits gegangen war, mit verzögerter Geschwindigkeit fort, wobei die Wege der einzelnen Theile um so länger sind, je näher sie der Oeffnung a lagen und nun ist das dritte Viertel der Schwingung vollendet und der Augenblick der größten Verdünnung der Luft am Boden c eingetreten. Endlich erfolgt das letzte Viertel der Schwingung zurück nach der Gleichgewichtslage mit beschleunigter Geschwindigkeit.

So nun entstehen am Boden in der Zeit, in welcher die Welle außerhalb um ihre halbe Dicke fortschreitet, abwechselnd eine Verdichtung und eine Verdünnung, oder es ist dort ein Knoten, während an der Mündung stets ein Bauch mit der größten Schwingungsweite sich befindet, denn hier trifft der verdichtete Theil der zurückgeworfenen Welle stets mit dem verdünnten der ankommenden und umgekehrt in demselben Augenblicke zusammen.

Nehmen wir ferner eine Pfeife an, deren Länge ³/₄ von der Wellendicke ist, so müssen sich auch in ihr stehende Wellen bilden mit den Knoten bei c und n und den Bäuchen bei a und r. Ist die ankommende Tonwelle in die Pfeife bereits so weit getreten, daß in a die größte Verdichtung sich befindet, so muß in r die größte Verdünnung sein und wäre bei n kein Verschluß, so würde bei anhaltender Tonerregung gleichzeitig dann bei r′ auch eine größte Verdichtung, dagegen bei a′ eine größte Verdünnung sein. Die darunter gezeichnete stärkere krumme Linie mag diesen Wellengang versinnlichen. Nun ist aber der in die Pfeife gedrungenen Welle das Fortschreiten bei n unmöglich, sie wird vielmehr daselbst zurückgeworfen und somit muß r′ auf r, c′ auf c, a′ auf a fallen.

Es treffen also zweimal die Stellen der größten Verdichtung des zurückgeworfenen Wellentheiles auf die Stellen der größten Verdünnung der ankommenden Welle und daher ist in der Pfeife an diesen Stellen, nämlich bei r und bei a, gleichzeitig ein Bauch, während die Knoten bei c und n sich bilden müssen. — Ist nun nach einem Viertel der Schwingungsdauer die ankommende Welle um den vierten Theil ihrer Dicke vorgeschritten, also in die durch die schwache Linie bezeichnete Lage gekommen, so daß also die vorige Stelle r′ der größten Verdichtung nach c′ gelangt wäre, wenn ein Hinderniß durch den Boden nicht stattgefunden hätte; so muß wegen der Zurückwerfung bei n jetzt c′ auf c fallen, und es liegen bei c in der Pfeife also zwei Stellen stärkster Verdichtung auf einander und bilden einen Knoten. — Nach Vollendung einer halben Schwingung ist in c die größte Verdünnung. Auch in n ist ein Knoten, nur daß Verdünnung und Verdichtung gleichzeitig abwechseln mit denen in c.

In gleicher Weise treten die Erscheinungen bei gedeckten Pfeifen ein, deren Länge ein noch größeres ungrades Vielfache eines Viertels der ganzen Tonwellendicke ist, und es dürfte nun der so schwierig scheinende Vorgang hinreichend klar gemacht worden sein.

Es ist eine Thatsache, daß selbst in Zimmern durch die Zurückwerfung der Tonwellen von den Wänden an gewissen Stellen auch Knoten und Bäuche sich bilden und daß selbst aus einem verworrenen Geräusche durch Interferenzen ein gewisser Ton entsteht.

Ist eine gedeckte Pfeife hinreichend lang und dabei ziemlich dünn, so kann man, statt durch Konsonanz, durch verschieden starkes Anblasen in ihr dieselbe Eintheilung durch Schwingungsknoten und somit durch ihr selbstständiges Tönen eine ganze Reihe verschiedener Töne hervorbringen. Von der Mündung bis zum nächsten Knoten ist stets $\frac{1}{4}$ von der ganzen Wellendicke des Tones, aber von Knoten zu Knoten und vom letzten bis zum Boden der Pfeife stets $\frac{1}{2}$ Wellendicke. Da nun in allen Fällen die zu einem Tone gehörigen Schwingungszahlen wie umgekehrt die Dicken der Tonwellen sich verhalten, so werden auch die durch allmählige Vermehrung der Knoten in einer gedeckten Pfeife entstehenden Töne sich wie die Anzahl der dadurch entstandenen Theile verhalten.

Gesetzt eine gedeckte Pfeife gäbe als tiefsten Ton, d. h. ohne Knoten, so daß ihre ganze Länge $\frac{1}{4}$ der Schallweite ist, den Ton C; so wird ihr nächst höherer Ton g sein müssen, weil die Pfeife jetzt von der ganzen Tonwelle $\frac{3}{4}$ enthält und die Wellendicke des neuen Tones nur $\frac{1}{3}$ von der des vorigen ist. Wäre die Wellendicke $\frac{2}{3}$ von der vorigen, so wäre der Ton seine höhere Quinte G; da aber die Wellendicke nur die Hälfte davon ist, so muß der Ton die niedere Oktave von G, d. i. g, sein. — Zu zwei Knoten, welche aus der Pfeife 5 gleiche Theile machen, so daß die Wellendicke nur $\frac{1}{5}$ von der im ersten Falle ist, gehört der Ton $\overline{e}$. — Zu drei Knoten und 7 Theilen gehört $\sharp\,\overline{a}$ und zu 4 Knoten und 9 Theilen $\overline{\overline{d}}$.

Tritt durch das eine Ende einer offenen Pfeife eine außerhalb erregte Tonwelle, so kann sich an dem anderen offenen Ende kein Knoten bilden, weil dasselbe mit der äußeren Luft in Verbindung steht, wohl aber wächst die Dichtigkeit der eintretenden Verdichtungswelle nach der Mitte der Pfeife hin, weil ein seitliches Entweichen der Luft ringsum gehindert ist. Entsteht also durch selbstständiges Anblasen einer offenen Pfeife ein Ton, so muß mindestens ein Knoten und zwar in der Mitte gebildet werden, so daß in der ganzen Pfeife zwei Viertelwellen vorhanden sind und als Grundton derselbe Ton erscheint, welchen eine gedeckte Pfeife von halber Länge (von der einen Mündung bis zum Knoten in der Mitte) gab. — Entstehen durch stärkeres Anblasen zwei Knoten, so ist die Pfeife in 4 gleiche Theile getheilt, so zwar, daß von jedem Ende bis zum nächsten Knoten $\frac{1}{4}$ Welle und zwischen den beiden Knoten,

in denen Verdichtung und Verdünnung abwechseln, $\frac{3}{4}$ der Welle enthalten sind. — Bei drei Knoten sind 6, bei vier Knoten 8 Viertelwellen u. s. w. vorhanden.

Die Eintheilung der offenen Pfeifen geschieht also nach einer graden Anzahl von Viertelwellen und da auch bei ihnen in Betreff der Schwingungszahlen das obige Gesetz gilt, so werden sich auch hier für einen gewissen Grundton der Pfeife die anderen Töne derselben Pfeife berechnen lassen. Ist der Grundton der offenen Pfeife c, so folgen auf ihn die Töne $\bar{c}$, $\bar{g}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{e}}$, $\bar{\bar{g}}$. Die Aufeinanderfolge ist dieselbe wie die bei der freiwilligen Eintheilung einer Saite (Vergl. S. 152).

Macht man aus einer offenen Pfeife während des Anblasens dadurch eine gedeckte, daß man die andere Oeffnung verschließt; so springt der Grundton in die nächsttiefere Oktave über, weil sich die Wellenlänge verdoppelt, indem in der offenen Pfeife eine halbe Welle enthalten war, während in der gedeckten die Luftsäule von derselben Länge nur ein Viertel einer Welle umfaßt. Es ist also klar, daß man bei einer einzigen Pfeife zufolge der Stärke des Anblasens und des abwechselnden Schließens der Oeffnung eine ziemlich große Reihe von Tönen hervorbringen kann, nämlich: C, c, g, $\bar{c}$, $\bar{e}$, $\bar{g}$, $\sharp\bar{a}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{d}}$, $\bar{\bar{e}}$, $\bar{\bar{g}}$.

Die Knaben können daher auf einer ziemlich langen und dünnen *Weidenpfeife* kleine Melodien spielen. — Die Waldhornbläser benutzen während des Blasens häufig die rechte Hand, um die weitere Oeffnung des Instrumentes, wenn auch nur theilweise, zu verschließen, oder, wie man zu sagen pflegt, zu *stopfen*. — Bei den Orgelpfeifen sind bewegliche Metalldeckel, *Ohren*, an der offenen Seite angebracht, um durch sie die Pfeifen mehr oder weniger zu gedeckten zu machen, jenachdem der Ton niedriger oder höher gemacht werden soll. — Es ist also natürlich, daß die Erweiterung, so wie die Verengung der Mündung eines Instrumentes auf seine Tonhöhe von Einfluß ist.

Wenn man auch bei einigen Blasinstrumenten durch das Stopfen oder durch die verschiedene Anspannung und Erzitterung der Lippen beim Blasen auf demselben Instrumente eine ziemlich große Reihe von Tönen zu erzeugen im Stande ist, so lassen sich doch nicht alle Töne aller Tonarten und manche nur sehr schwierig hervorbringen. — Beim Waldhorne hilft man sich durch den Ansatz verschieden langer *Mundstücke*, welche grade dem Bedürfnisse entsprechen, indem sie die Länge der ganzen Luftsäule entweder verkürzen oder verlängern und bei der Posaune durch ein verschiebbares Ende, welches für die tieferen Töne herausgestoßen, für die höheren hereingezogen wird.

Diese Mittel bewegen sich aber für die Leistungen in der Musik in zu engen Gränzen und daher hat man die *Klappeninstrumente* erfunden, welche in neuerer Zeit, namentlich bei Blechinstrumenten, zu einer sehr großen Vollkommenheit gediehen sind. Bei manchen Instrumenten werden alle oder die meisten Oeffnungen mittelst der Finger ge-

schlossen und geöffnet (Pikolopfeife, Flöte, Klarinette u. a.), bei anderen durch hebelartige Klappen, welche mittelst Metallfedern auf die Oeffnungen gedrückt werden. Sind diese Oeffnungen bei einem gewissen Tone an den Stellen der Bäuche, so ist es für die Tonhöhe gleichgiltig, ob sie geschlossen oder offen sind; aber im letzteren Falle gewinnt die Reinheit der Töne in ähnlicher Weise, wie wir es bei den Flageolettönen kennen gelernt haben. Lüftet man aber eine Oeffnung an einer Knotenstelle, so kann dort ein Knoten (Verdichtung und Verdünnung) nicht mehr entstehen und die Luftsäule reicht nur bis an eine solche Oeffnung, wozu ein ganz neuer und höherer Grundton mit seinem Gefolge gehört; dabei aber können noch andere freie Oeffnungen an den Bäuchen der neuen Töne liegen. Daraus ist zu entnehmen, daß nicht nur die angemessene Vertheilung der Oeffnungen eine reifliche Ueberlegung, sondern auch das gute Spielen auf einem solchen Instrumente eine bedeutende Fertigkeit verlangt.

Charakter der Töne. Bei den Blasinstrumenten geräth unstreitig nicht nur die Luftsäule in Schwingungen, sondern durch Uebertragung auch das Umhüllungsmaterial derselben. Daher kommt nun der verschiedene Charakter eines und desselben Tones, welchen man nicht nur auf verschiedenartigen Instrumenten, sondern auch auf gleichartigen wahrnimmt. Es sind z. B. nicht alle Flöten gleich gut, denn zu dickes Holz gibt dumpfe und klanglose Töne; es ist zu den Blechinstrumenten nicht jede Metallkomposition gleich brauchbar, denn ist sie allzuelastisch, so ist der Ton zu schmetternd; bei wenig elastischer zu dumpf. Beim Fagott und der Oboe kommt es auch außerdem noch auf das Mundstück mit seiner Zunge (Schnate) an. — Wenn Jemand eine längere Zeit auf einem sonst guten Instrumente, aber in ungeschickter Weise schlechte Töne hervorbringt, so kann durch das Mitschwingen des die Luftsäule umgebenden Stoffes das Instrument so verblasen werden, daß es für bessere Zwecke kaum noch brauchbar ist. — Bei Saiteninstrumenten ist es ähnlich. Ein guter Violinspieler kann durch sein Spielen eine schlechte Violine verbessern, ein schlechter Spieler ein gutes Instrument wenigstens zeitweise verschlechtern.

Die oben für die Pfeifen angegebenen Tongesetze erleiden durch verschiedene Umstände einige Abänderungen, z. B. wenn man in den Boden einer gedeckten weiten Pfeife ein enges Ansatzrohr einfügt, wenn man dem Mundstücke verschiedene Weiten gibt, wenn der Durchmesser der Pfeife mehr als $1/6$ ihrer Länge beträgt; wir wollen aber diese zu sehr ins Einzelne gehenden Untersuchungen hier nicht weiter erörtern, sondern nur noch anführen, wie man mittelst der Töne die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Luftarten bestimmen kann. —

Man nimmt zu diesem Zwecke eine gedeckte Pfeife, füllt sie mit der betreffenden Luftart und bringt den tiefsten zu ihr gehörigen Ton

hervor. Verschiedene Gase lassen in derselben Pfeife verschiedene Töne wahrnehmen, jedenfalls aber ist in der Pfeife $^1/_4$ Tonwelle enthalten. Ist also die Pfeifenlänge l, so ist die Dicke der Tonwelle 4 l. Wenn nun der gehörte Ton zu n Schwingungen in 1 Sekunde gehört, so ist die Fortsetzungsgeschwindigkeit in der Luftart, welche grade diesen Ton gibt, n . 4 l.

Je enger die Pfeifen sind, desto genauer ist das Resultat, weil die Schallwelle an der Mündung zwar stets etwas heraustritt, also die Pfeife etwas kürzer ist, als $^1/_4$ Tonwelle (oder der Ton etwas tiefer, als der Pfeifenlänge entspricht), aber bei der weiteren mehr, als bei der engeren.

Wenn man die Geschwindigkeit des Schalles in der atmosphärischen Luft gleich 1 annimmt, so ist sie im

Kohlensauren Gase . . .	0,786	Sauerstoffgase	0,952
Stickstoffoxyd	0,787	Kohlenoxydgase	1,013
Oelbildenden Gase . . .	0,943	Wasserstoffgase	3,812

Diese Geschwindigkeiten nehmen im Allgemeinen zwar zu, wenn die spezifischen Gewichte abnehmen; es scheinen aber für diese Untersuchungen noch nicht alle Umstände berücksichtigt zu sein. Wichtig ist für die Tonverhältnisse, daß mit zunehmender Temperatur einer gewissen Luftart der Ton derselben Pfeife sich erhöht, die Geschwindigkeit wächst, und daß somit der Ton einer kalten Pfeife während des Gebrauches oder wenn sie in einen wärmeren Ort gebracht wird, sich erhöht. Daher ist es nothwendig, vor einem Konzerte alle Instrumente einige Zeit entweder in den Konzertsaal zu bringen oder an einem ebenso warmen Orte aufzubewahren. Dann erst kann man die Saiteninstrumente nach den Blasinstrumenten (der Klarinette) mit Erfolg auf die Dauer richtig stimmen.

Hat man Glasröhren mit verschiedenen Luftarten gefüllt und bringt man sie durch Reiben mit einem feuchten wollenen Flecken zum Tönen mit Längenschwingungen, so läßt sich aus der verschiedenen Anzahl von Wellen in den verschiedenen Fällen auf das Verhältniß der Geschwindigkeit des Schalles im Glase und in der betreffenden Luftart schließen; sie ist im Glase 16 mal größer, als in der atmosphärischen Luft und 7 mal größer, als im Wasserstoffgase. Man macht hierbei die Wellen durch Hexenmehl (semen licopodii), welches in den Röhren gleichmäßig vertheilt ist, sichtbar. Es entstehen also in jenem Falle 16, in diesem 7 Wellen.

c) Töne an verschiedenen Körpern. Schließlich wollen wir noch einige Bemerkungen über die Töne anderer Körper als der Saiten und Luftsäulen und bei anderen Schwingungsarten anführen.

Bringt man Saiten oder auch Stäbe durch Anstreichen unter einem recht spitzen Winkel zum Tönen, so geschehen Längenschwingungen, zu welchen bedeutend höhere Töne gehören, als zu den Querschwingungen

desselben Körpers. Daher nimmt man zu diesen Versuchen sehr lange Saiten.

Die Saite schwingt hierbei entweder als Ganzes oder sie theilt sich in 2, 3, 4, 5 . . . gleiche Theile durch Bildung von Schwingungsknoten bei der Berührung eines Theilungspunktes. Die entstandenen Töne entsprechen den ganzen Zahlen in ihrer natürlichen Reihenfolge.

Wenn bei Stäben eine überwiegende Länge vorkommt, so ist es für einen gewissen Stoff gleichgiltig, ob der Stab dick oder dünn, voll oder hohl, walzenförmig (zylindrisch) oder kantig (prismatisch) ist. Die an den beiden Enden freien Stäbe theilen sich durch Schwingungsknoten in eine grade, die an dem einen Ende befestigten in eine ungrade Anzahl gleicher Theile, woraus sich die Höhe der Töne entnehmen läßt. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Längenwellen in dem Stoffe des Stabes steht mit der Tonhöhe in derselben Beziehung, wie der Ton einer Pfeife zur Geschwindigkeit des Schalles in der Luft. Daraus läßt sich die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Stoffen und der Grad der Elastizität nach verschiedenen Richtungen eines nicht isomorph gebildeten Körpers finden. Holz hat parallel mit den Fasern (oder Jahrgängen) eine größere Elastizität, als in der darauf senkrechten Ebene.

Tönende Scheiben geben bei gleicher Beschaffenheit des Stoffes, bei gleicher Gestalt und Klangfigur um so tiefere Töne, je dünner und je größer sie sind; je weniger elastisch Scheiben von gleicher Größe, Dicke, Form und mit gleicher Klangfigur sind, desto tiefer ist ihr Ton. Ist von den zuletzt genannten vier Stücken eines derselben verschieden oder sind mehre verschieden, so können die Töne zweier Scheiben gleich hoch sein bei Gleichheit oder Verschiedenheit der Klangfigur. Jedenfalls gehört bei einer bestimmten Scheibe zu den zusammengesetzteren Figuren, welche aus der Scheibe kleinere Theile bilden, höhere Töne. Ist auf einer Scheibe ein bestimmtes Stück der Oberfläche ringsum durch Knotenlinien abgegränzt, so enthält es eine ganze Flächenwelle; sind aber die Gränzen zum Theil durch die Kanten der Scheibe gebildet, so sind diese Stücken nur Hälften oder Viertel der Welle. Man kann, wenn man den zu einer bestimmten einfachen Figur gehörigen Ton einer bestimmten Scheibe kennt, aus einer neuen Figur auf ihr den Ton erkennen und aus dem Tone auf die zu ihm gehörige Figur schließen.

Wenn Massen, deren Abmessungen nach verschiedenen Richtungen nicht sehr von einander verschieden sind, angeschlagen werden, wie etwa, wenn man mit einem Hammer auf einen Ambos, auf einen frei liegenden Stein, auf einen trockenen Holzkloben u. dergl. schlägt; so hört man auch einen gewissen Ton und muß schon aus den meist wahrgenommenen Anschwellungen auch auf das Vorhandensein von Knotenflächen schließen, aber man hat es hier nicht in seiner Gewalt, Tonveränderungen vorzunehmen. Will man also dergleichen Massen in Konzert-

stücken verwenden, wie es in der Oper „Alcidor" mit Ambossen geschehen ist, so muß man für jeden zu gebrauchenden Ton eine besondere Masse aufstellen. Dieses musikalische Mittel schmeckt weniger nach Kunst, als nach Effekthascherei!

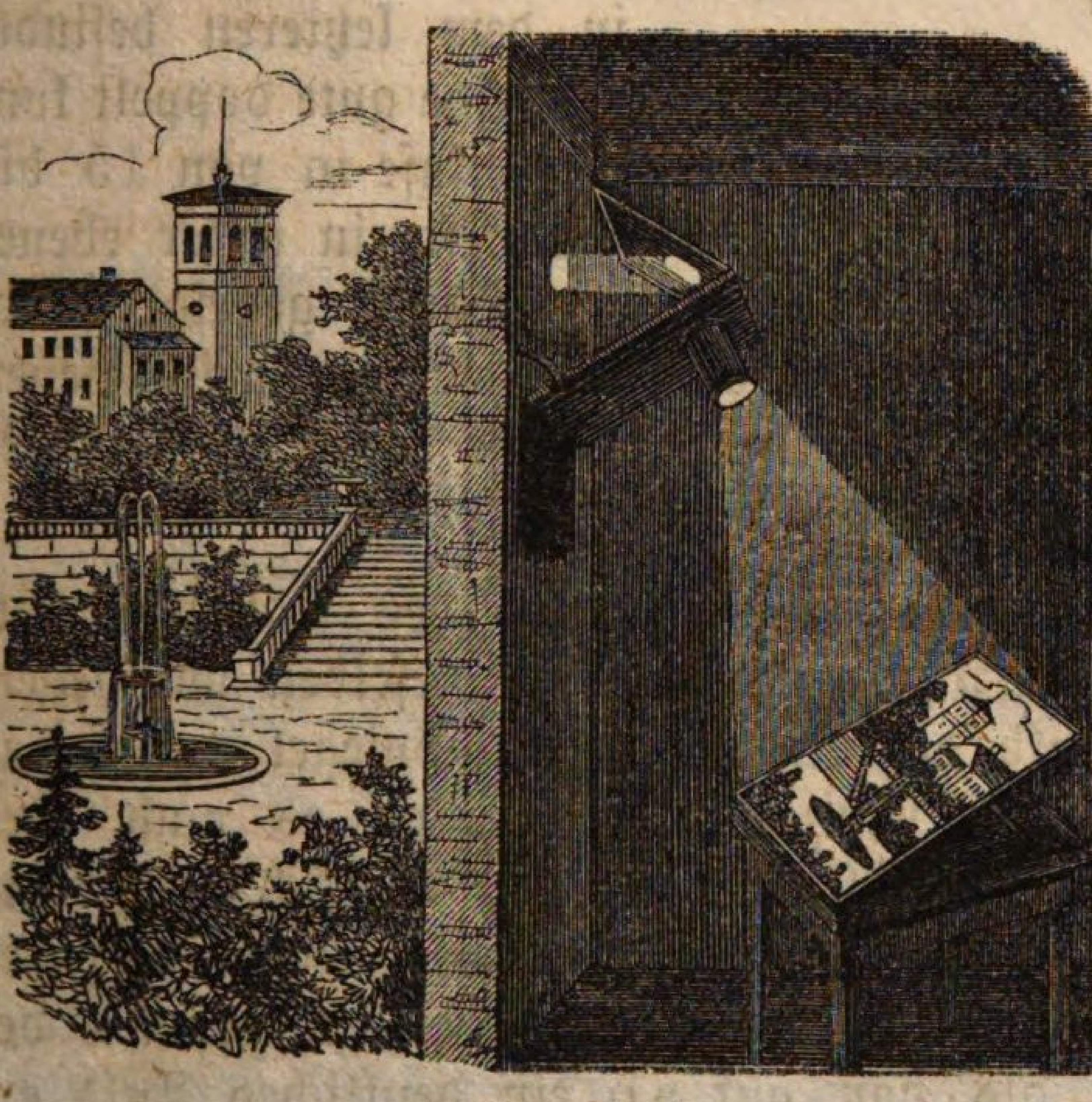
Zweiter Abschnitt.

Vom Lichte.

Die Betrachtungen, welche wir aus der Lehre vom Lichte noch anzuführen haben, beziehen sich zwar auch auf Erscheinungen, welche ihren letzten Grund in Schwingungen haben, bieten aber übrigens in ihrer Anwendung so vieles Abweichende von der vergleichenden Theorie dar, daß wir ihnen einen besonderen Platz anweisen. Wir wollen zunächst eine Reihe interessanter und nützlicher optischer Instrumente anführen, bei welchen theils die Strahlenbrechung, theils die Zurückwerfung, theils beide Anwendung gefunden haben.

Optische Instrumente.

Die Camera obscura oder dunkle Kammer haben wir zwar schon früher (Bd. II. S. 21) erwähnt, aber die in ihr ohne Anwendung von Gläsern sich zeigenden Bilder entbehren der nöthigen Schärfe, wenn die Oeffnung im Laden zu groß, und der nöthigen Deutlichkeit, wenn die Oeffnung zu klein ist und leiden jedenfalls an beiden Mängeln ohne Anwendung von achromatischen Gläsern.



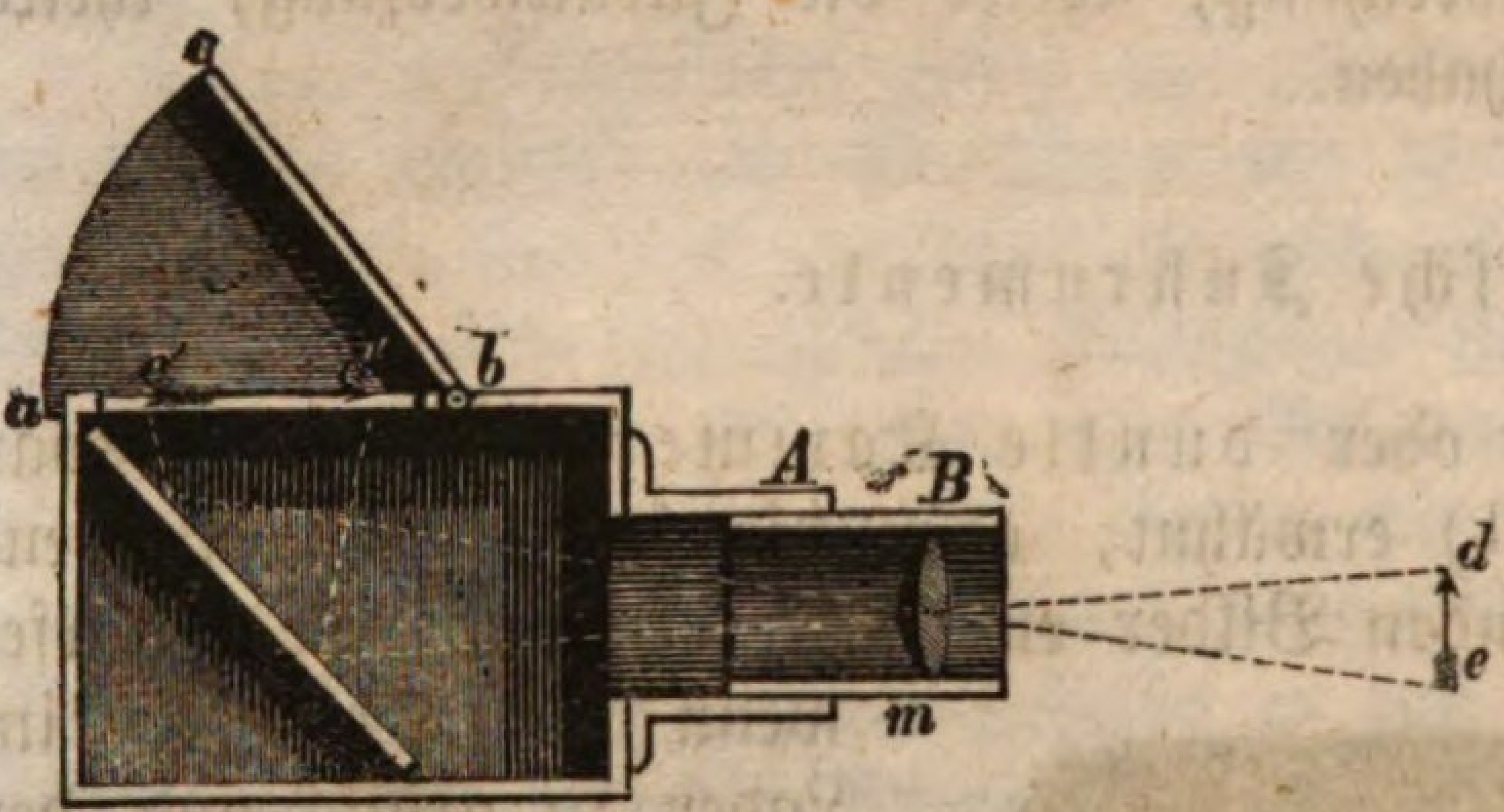
(Fig. 329.)

Fig. 329 zeigt links eine Landschaft, rechts ein verfinstertes Zimmer mit einer kreisrunden Oeffnung an einer Seitenwand oben, durch welche von den gut beleuchteten äußeren Gegenständen Lichtstrahlen auf einen so geneigten

ebenen Spiegel fallen, daß der Lichtstrahlenzylinder nach untenhin auf eine doppelt konvexe achromatische Linse in einer innerhalb geschwärzten Röhre fällt. Die durchgegangenen Lichtstrahlen werden dann unten im Zimmer mit einem weißen Schirme so aufgefangen, daß sie, wenigstens die mittelsten, lothrecht auf ihn fallen. Die Entfernung des Schirmes richtet sich nach der Brennweite der Linse. Es ist natürlich, daß sich in keinem Falle weder die allzunahen, noch die allzuentfernten Gegenstände deutlich abbilden können, weil der Vereinigungspunkt der von einem Punkte ausgehenden Strahlen im ersten Falle vor den Schirm, im zweiten hinter denselben fällt. Da von jedem Punkte des Gegenstandes eine Menge Lichtstrahlen durch die nicht mehr so kleine Oeffnung gehen, so sind die Bilder nicht mehr so lichtschwach, da die Linse die sämmtlichen Strahlen wieder vereinigt.

Das Bild zeigt die natürlichen Farben der Gegenstände und wegen der Neigung des Spiegels die durch die Zeichnung hinreichend deutlich angegebene richtige Lage derselben.

Da die Bilder der Gegenstände treu wiedergegeben sind, so dachte man bald auf Mittel, dieselben leicht abzeichnen zu können. Wir wollen zu diesem Zwecke zwei Apparate angeben.



(Fig. 330.)

Fig. 330 zeigt einen viereckigen innerhalb geschwärzten Kasten; durch die Mitte der einen Seitenwand geht ein zylinderförmiges Rohr A, in welchem ein zweites B verschiebbar angebracht ist; in dem letzteren befindet sich eine gute doppelt konvexe Linse m von 15 bis 30 Zoll Brennweite; im Hintergrunde des Kastens ist ein guter ebener Spiegel unter einem Winkel von 45° gegen die Wände geneigt angebracht; die obere Decke ist über dem Spiegel mit einer matt geschliffenen Glasplatte ab unterbrochen und über derselben ist noch ein dunkler Schirm cb, um das äußere Licht abzuhalten.

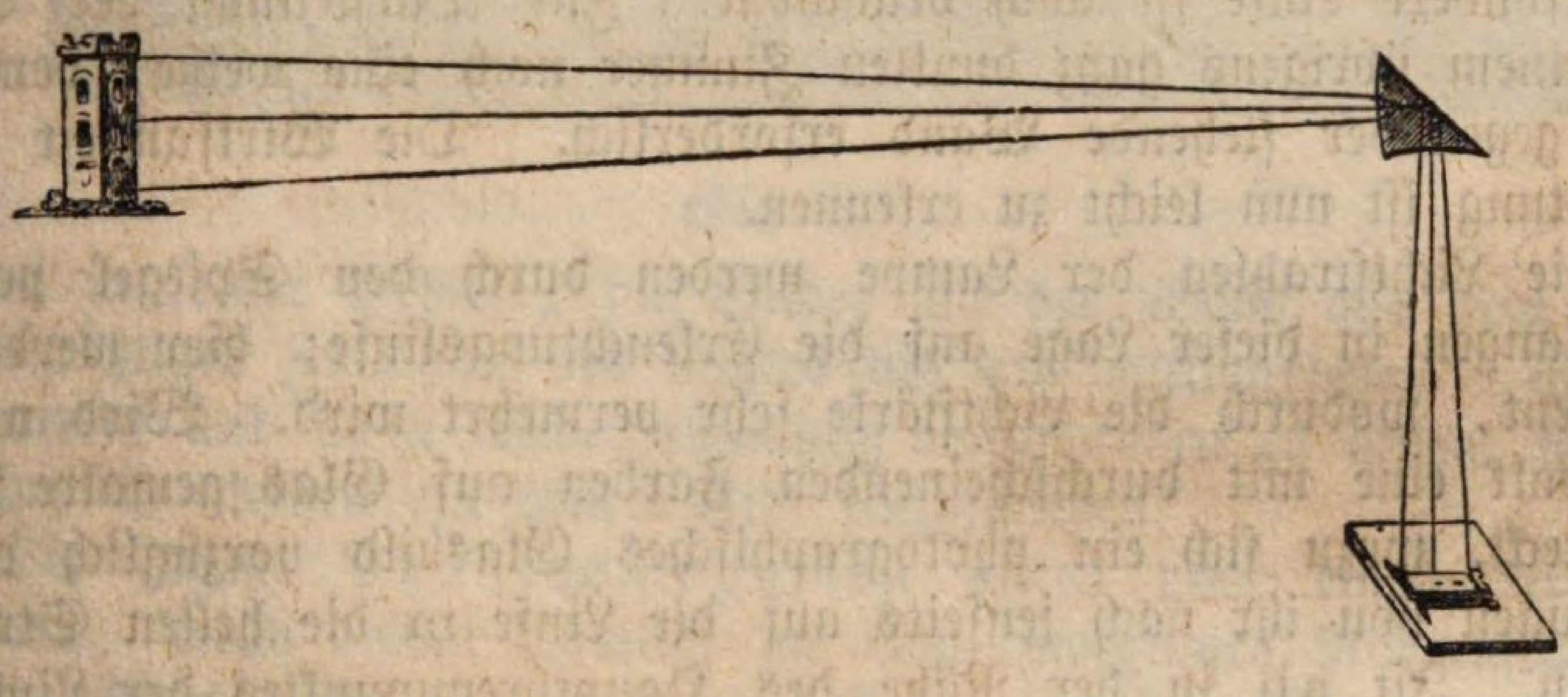
Gehen von einem Gegenstande cd außerhalb des Kastens Lichtstrahlen divergirend auf die Linse m, so sammelt sie dieselben von jedem Punkte zu einem Bilde innerhalb des Kastens; der Spiegel macht das Bild des lothrechten Gegenstandes horizontal und wirft es nach oben in dieser Lage auf die Glastafel. Soll es hier ganz deutlich erscheinen, so muß man die Stellung des Schiebers B nach der Entfernung des Gegenstandes einrichten: ist er nahe, so liegt der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen zu weit entfernt, als daß auf ab ein deutliches Bild er-

scheinen könnte und man muß den Schieber herausziehen; liegt der Gegenstand entfernt, so schiebt man ihn hinein.

Man kann das Bild zwar auf die matte Glastafel zeichnen, aber auch auf ein durchscheinendes Papier, welches man darauf gelegt hat. Um fremdes Licht noch besser abzuhalten, kann der Zeichner sich und den Apparat mit Ausnahme der Röhre mit einer undurchsichtigen Hülle umgeben.


(Fig. 331.)

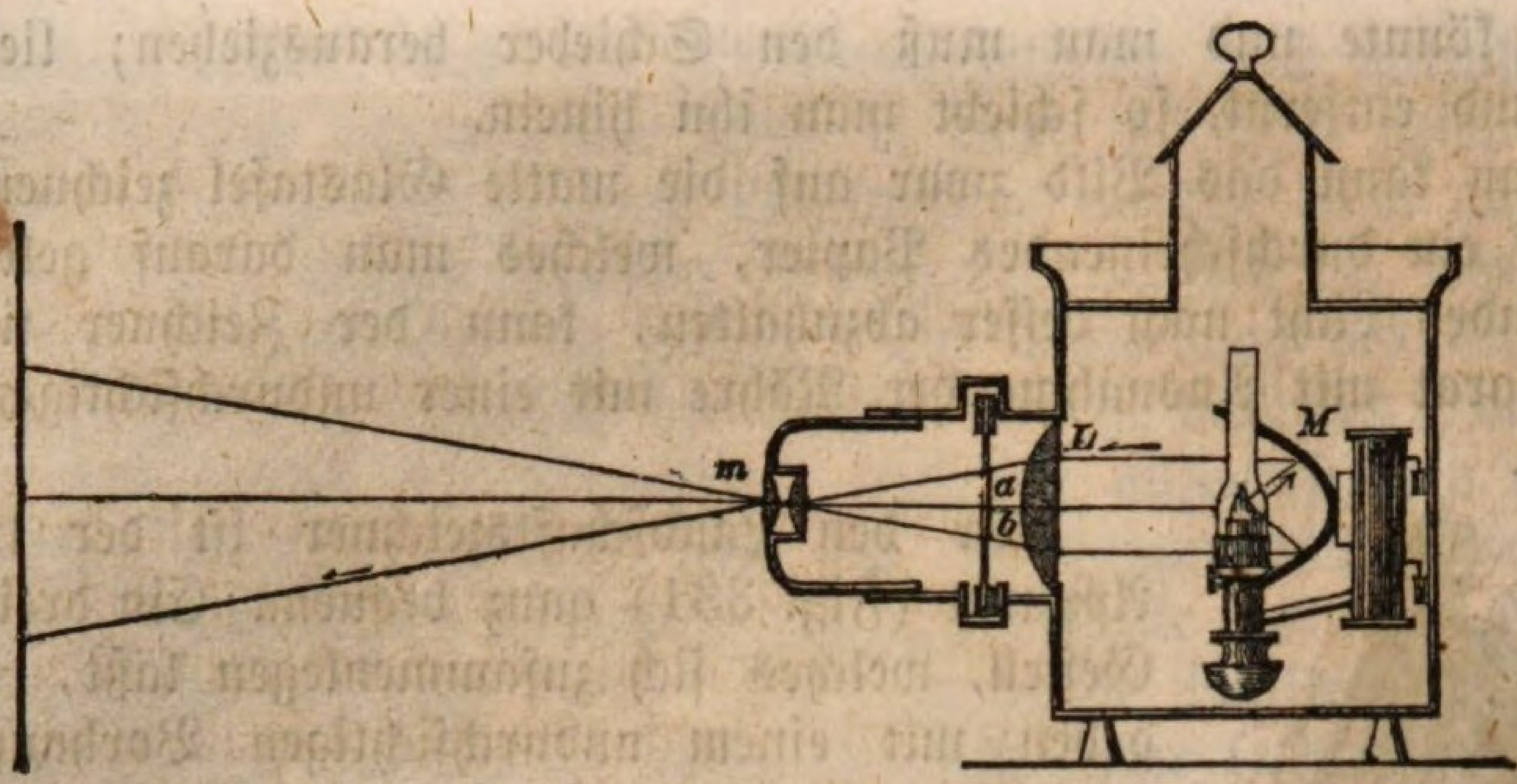
Für den Landschaftszeichner ist der tragbare Apparat (Fig. 331) ganz bequem. Ein dreifüßiges Gestell, welches sich zusammenlegen läßt, ist umgeben mit einem undurchsichtigen Vorhange und so hoch und weit, daß darin auf einem Feldstuhle der Zeichner und der Tisch mit dem Brette zum Zeichnen Platz findet. Oben ist an dem Gestelle ein Zylinder mit einem in Fig. 332 dargestellten dreiseitigen Glaskörper, dessen eine Seite konvex geschliffen und dem Gegenstande, z. B. einem Thurme, zugewendet ist; die dadurch gesammelten Strahlen werden auf der ebenen Hinterfläche gänz-


(Fig. 332.)

lich nach unten zurückgeworfen und fallen nach einem zweiten Durchgange auf den Tisch. Dieses Glasprisma verbindet also die Wirkungen der Linse und des Spiegels im vorigen Apparate.

Seit Erfindung der Photographie hat die Anwendung der angeführten Apparate zwar einen gewaltigen Stoß erlitten; da aber photographische Aufnahmen immer einer Menge von Vorbereitungen und Vorrichtungen bedürfen, deren Transport oft allzu umständlich ist, so dürfen sie der Vergessenheit noch nicht übergeben werden.

Die **Zauberlaterne.** Laterna magica. In Fig. 333 ist der senkrechte Durchschnitt des Apparates dargestellt. Die eine Seite eines Blechkastens enthält eine Thür, die Decke ist von einem oben bedeckten Schornsteine durchbrochen; im Inneren befindet sich eine hellleuchtende



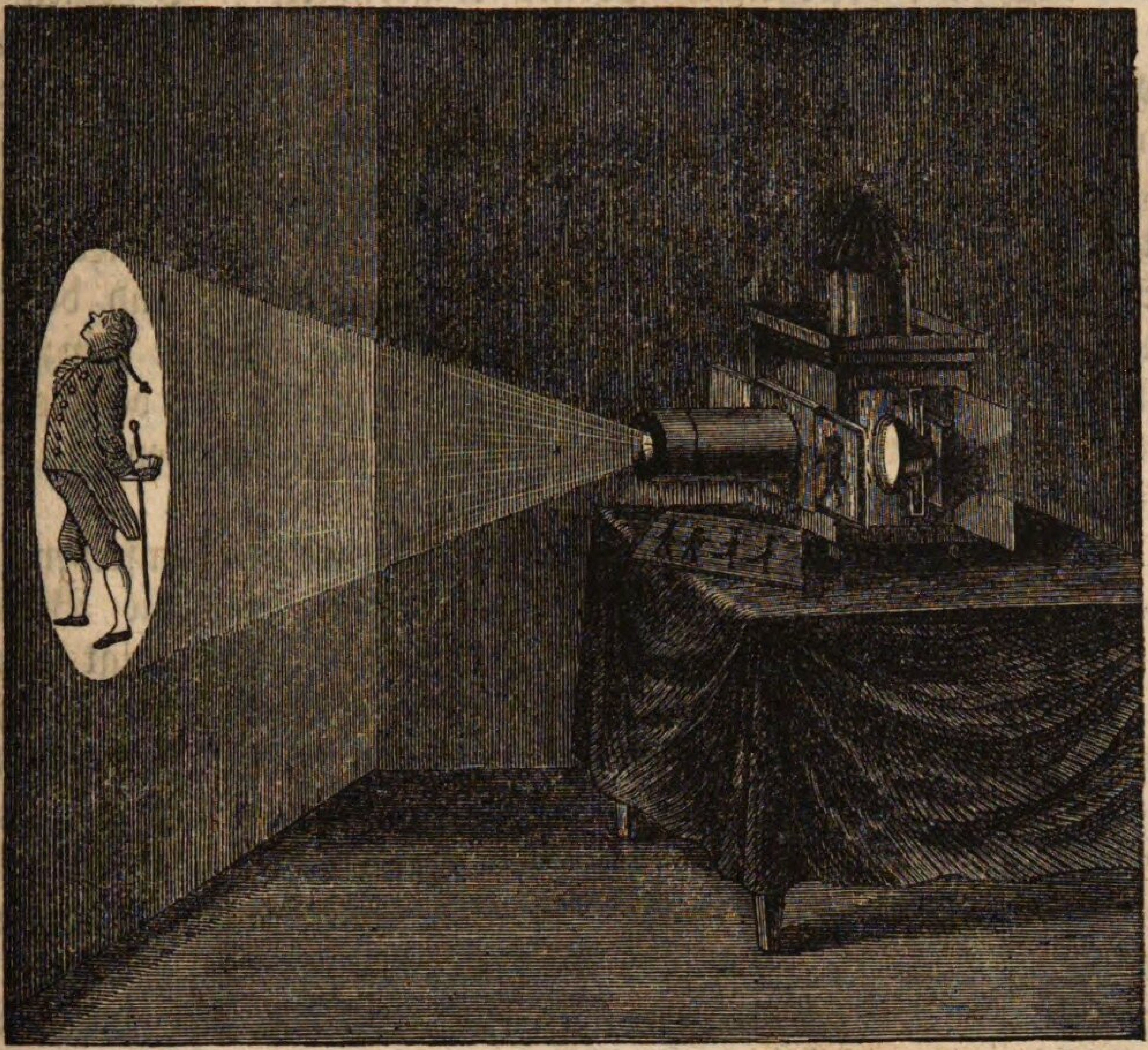
(Fig. 333.)

Lampe unter dem Schornsteine, hinter ihr ein parabolischer Spiegel M, in dessen Brennpunkte die Flamme ist; in der gegenüberliegenden Wand des Kastens ist eine plankonvexe Linse L, an welche sich ein zylindrisches Rohr mit einem Spalte in der Nähe dieser Linse und einem verschiebbaren Vordertheile schließt, worin zwei plankonkave Linsen zu einer starken Vergrößerung angebracht sind, welche einander die erhabene Seite zuwenden. Eine bikonvexe Linse ist auch brauchbar. Zur Darstellung der Bilder ist in einem übrigens ganz dunklen Zimmer noch eine weiße, dem Apparate gegenüber stehende Wand erforderlich. Die Wirksamkeit dieser Vorrichtung ist nun leicht zu erkennen.

Die Lichtstrahlen der Lampe werden durch den Spiegel parallel und gelangen in dieser Lage auf die Erleuchtungslinse; hier werden sie konvergent, wodurch die Lichtstärke sehr vermehrt wird. Wird nun in den Spalt eine mit durchscheinenden Farben auf Glas gemalte Figur ab gesteckt, wozu sich ein photographisches Glasbild vorzüglich eignet, so gelangen von ihr nach jenseits auf die Linse m die hellen Strahlen derselben. Ist ab in der Nähe des Hauptbrennpunktes der Linse m, aber noch außerhalb der Brennweite, so entsteht jenseits, also außerhalb des Apparates, davon ein Bild, welches um so größer ist, je weiter die Wand sich befindet; es wird aber nur in einer gewissen Entfernung die nöthige Deutlichkeit haben.

Fig. 334 zeigt denselben Apparat während seines Gebrauches, wobei die Seitenthür geöffnet ist, um das Innere zu sehen. Aus Versehen ist aber die hineinzusteckende Zeichnung in die aufrechte Lage gebracht; sie muß vielmehr verkehrt hineingesteckt werden, damit das Bild auf der Wand grade erscheine.

Um bei der Darstellung die Wirkung auffallender zu machen, bringt man den Apparat im Rücken der Zuschauer versteckt an und schließt die Oeffnung des Rohres mit einer aus zwei beweglichen Theilen bestehenden Blende, die durch einen Griff sehr allmählig von der Mitte aus geöffnet und nach der Mitte hin geschlossen werden kann. So hat



(Fig. 334.)

man es in seiner Gewalt, die Bilder auf der Wand aus dem Dunkel bei allmähliger Zunahme des Lichtes bis zur vollkommenen Deutlichkeit hervortreten und dann wieder allmählig verschwinden zu lassen, um während der Dunkelheit ein neues Bild einzuschieben.

Die sogen. Phantasmagorien bieten noch einen besonderen Reiz dar. Man bringt nämlich an dem beweglichen Röhrenstücke eine gezahnte Stange an, um durch eine Schraube ohne Ende die Vergrößerungslinse dem hineingesteckten Gegenstande nähern oder sie von ihm entfernen zu können; außerdem ruhen die Beine des Gestelles auf umwickelten Rädchen, damit der ganze Apparat der Wand ohne Geräusch mehr oder weniger genähert werden kann. Zuerst schiebt man die Linse heraus und bringt die übrigens versteckte Laterne der Wand so nahe, daß ein klares Bild auf ihr erscheint. Dann schraubt man die Linse allmählig hinein und entfernt gleichzeitig die Laterne. Dieses hat die Folge, daß das Bild auf der Wand sich allmählig vergrößert und daß es in dem Zuschauer die auffallende Täuschung hervorbringt, als ob die im Bilde dargestellte Person sich ihm nähere. Durch kleine mit dem Apparate vollführte Schwankungen kann man die Täuschung des Laufens nachahmen, um den Erfolg noch wirksamer zu machen. Schraubt man ein ganzes Stück plötzlich hinein, so tritt die Figur wie mit einem Sprunge dem Beschauer entgegen. Hat man die Figur in der Laterne

außerdem noch mit beweglichen Theilen eingerichtet, z. B einen Mann, welcher mit einem Stocke schlägt, wenn man seinen beweglichen Arm an einem Drahte zieht, oder einen Schmied, welcher glühendes Eisen hämmert; so dienen solche Darstellungen zu nicht geringer Belustigung. Schraubt man dann die vordere Linse allmählig heraus und schiebt man die Laterne der Wand näher, so entfernt sich die Figur wieder.

Statt daß die Zuschauer sich zwischen der Wand und der Laterne befinden, kann die Wand zwischen Zuschauer und Laterne sein; sie muß aber für diesen Fall aus einem durchscheinenden Stoffe bestehen, wozu sich feiner und dichter Shirting, welchen man gut angefeuchtet erhalten muß, sehr eignet.

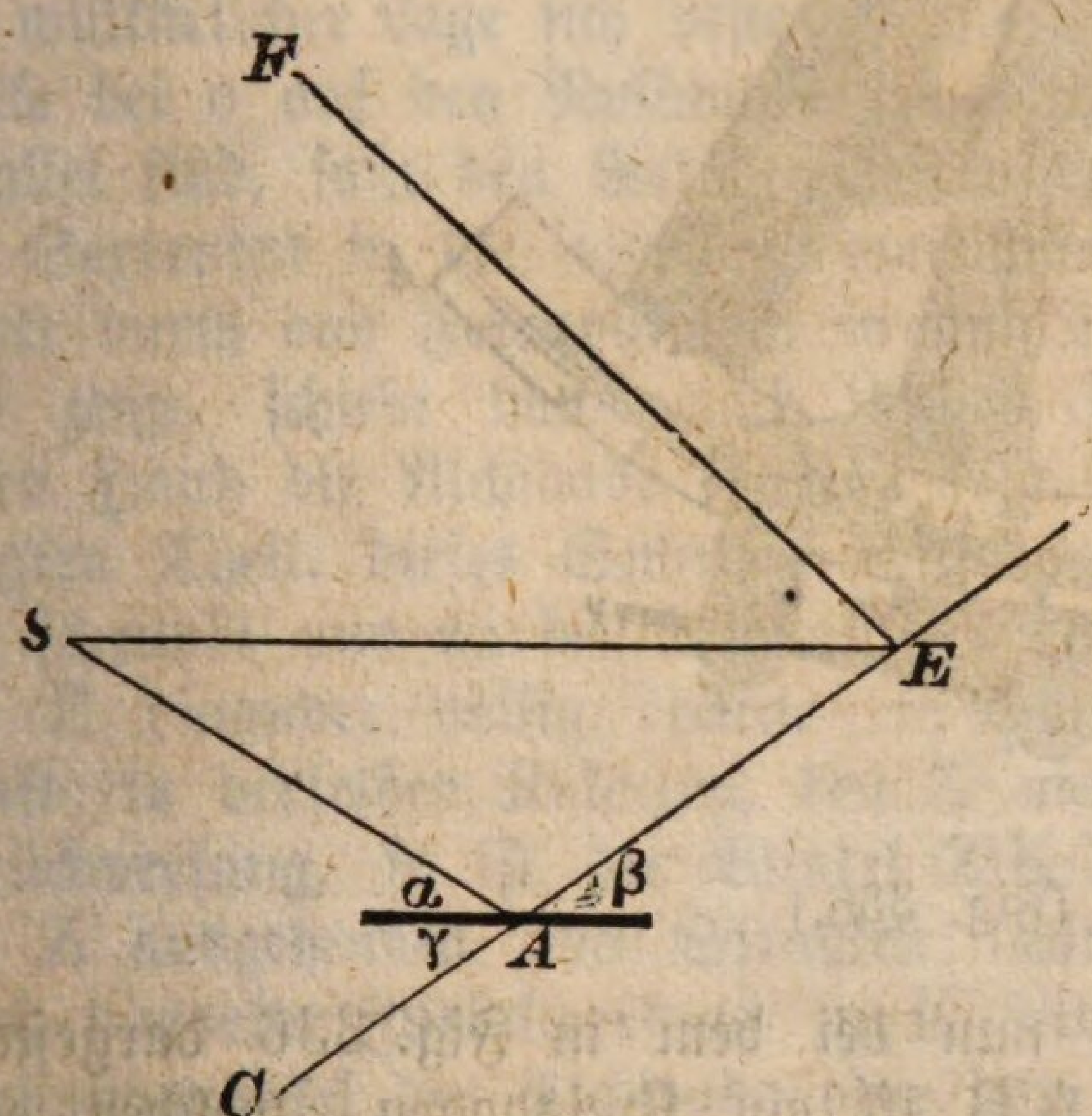
Das Polyorama enthält zwei Laternen in demselben Kasten, welche so gestellt sind oder sich so stellen lassen, daß die Bilder von beiden auf dieselbe Stelle des Schirmes fallen. Man zeigt nun beide Bilder nicht gleichzeitig, sondern hintereinander; indem man nämlich das erste allmählig abblendet, so daß es immer trüber und nebelartiger wird, öffnet man die Blende vor dem zweiten und läßt es, nachdem jenes verschwunden ist, immer deutlicher erscheinen, bis es in voller Klarheit jenes ersetzt. Weil diese Bilder gewissermaßen in einem Nebel in einander übergehen, heißt die Vorrichtung auch ein Nebelbilderapparat. Die Beleuchtung der Objekte geschieht hier durch Anwendung des drummondschen Kalklichtes statt der Lampe und durch eine mehr kugelförmige Linse statt des Hohlspiegels. Dieses außerordentlich starke Licht erhält man, wenn man einen feinen angezündeten Strahl von Knallgas (2 Maß Wasserstoff mit 1 Maß Sauerstoff) auf einen durch ein Uhrwerk gedrehten Zylinder aus ungelöschtem Kalke gehen läßt. Um Explosionen zu vermeiden, hat man die beiden Gasarten in abgesonderten Behältern einem Drucke ausgesetzt und vereinigt die beiden Luftstrahle erst gegen das Ende einer engen Röhre.

Die Leistungen des Apparates sind durch die dabei möglichen Uebergänge, bei denen auch Bewegungserscheinungen vorkommen können, oft höchst angenehm überraschend. In einer schönen Sommerlandschaft ist z. B. eine oberschlächtige Wassermühle im besten Gange; die Vegetation bleicht ab und der Herbst ist da; der Winter nahet sich, indem es anfängt etwas zu schneen; das Mühlrad fängt an langsamer zu gehen, indem Eis sich zu bilden anfängt, bis es endlich ganz eingeeist still steht und die ganze Landschaft den Winter zeigt, der noch durch einen Schneeschauer veranschaulicht werden kann. So kann eine ganze Reihenfolge von Bildern, welche aufeinander folgende Scenen einer zusammenhängenden Handlung darstellen, einen überraschend täuschenden und angenehmen Erfolg haben. Die oft so prachtvollen Chromatropen werden auch durch einen solchen Apparat hervorgebracht.

Der Sextant ist ein für die Seefahrer unentbehrliches Instrument und leistet überhaupt in allen Fällen, in denen die Größe von

Winkeln in beliebig liegenden Ebenen gemessen werden sollen, die vorzüglichsten Dienste.

Will man die Höhe eines Punktes, z. B. des Sonnenmittelpunktes in einem bestimmten Augenblicke, wie etwa um 12 Uhr, über dem Horizonte aufsuchen; so bedarf man bei beschränkter Aussicht eines künstlichen Horizontes (Bd. I. S. 15 u. 167); bei einer freien aber, wie auf dem Meere oder einer weiten Ebene, genügt es, die von unserem Standpunkte nach dem scheinbaren Horizonte gezogene Linie als den horizontalen Schenkel des zu bestimmenden Winkels anzunehmen, dessen zweiter Schenkel nach dem höheren Punte gerichtet ist.



(Fig. 335).

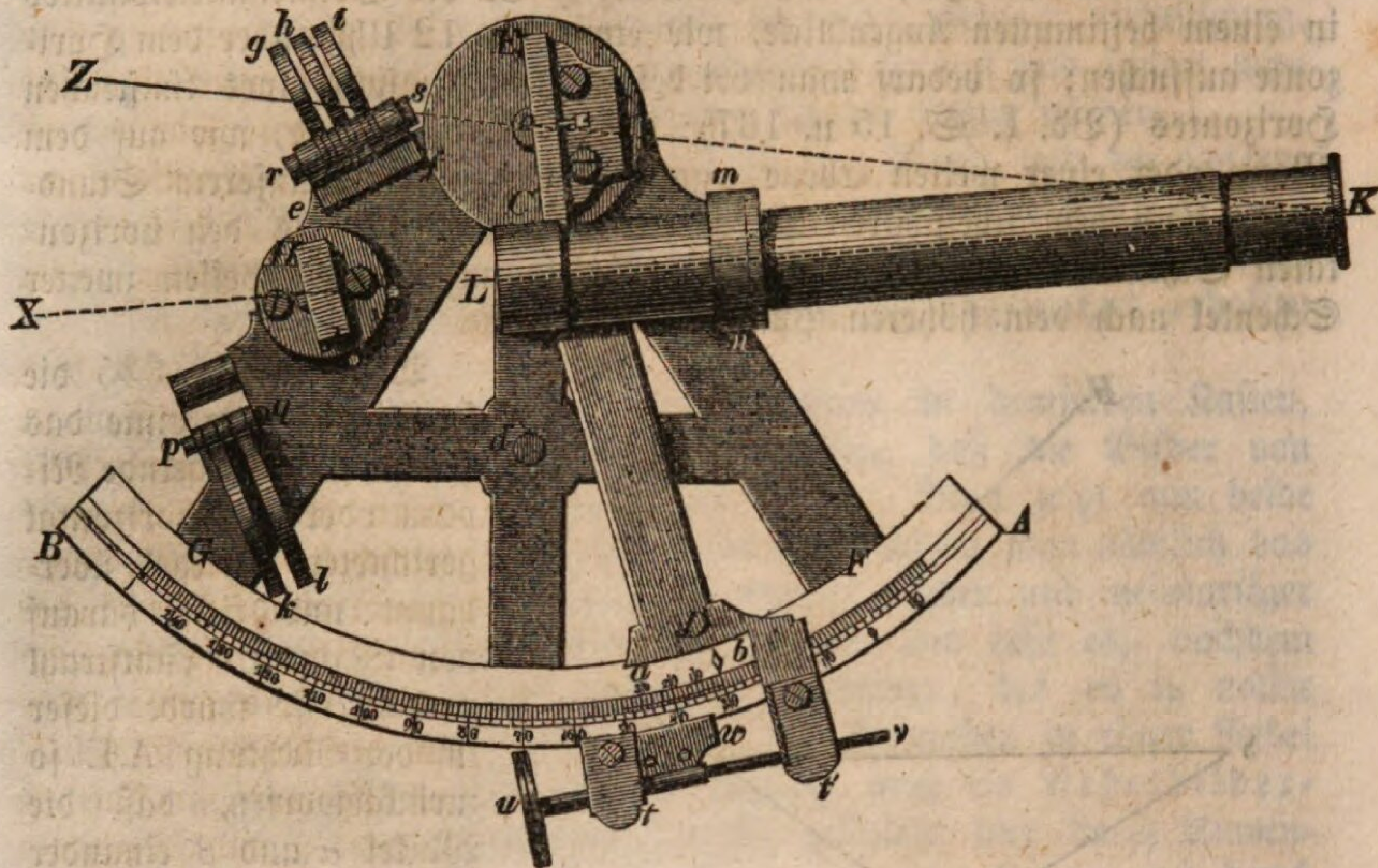
Wäre in Fig. 335 die stark gezeichnete Linie das horizontale spiegelnde Niveau oder ein horizontal gerichteter Spiegel überhaupt und fiele darauf von S aus ein Lichtstrahl nach A, so würde dieser in der Richtung AE so zurückgeworfen, daß die Winkel α und β einander gleich sind. Wird EA von A an nach C verlängert, so sind die Winkel γ, β und α einander gleich, so daß Winkel SAC $= 2\alpha$ ist. Das heißt:

der Winkel, welchen ein auf einen Spiegel fallender Lichtstrahl mit der vom Spiegel ausgehenden Verlängerung des zurückgeworfenen Strahles macht, ist doppelt so groß, als der Neigungswinkel des einfallenden Strahles gegen den Spiegel.

Ist der Spiegel horizontal, so ist der Neigungswinkel zugleich der Höhenwinkel Wird durch irgend einen Punkt E des zurückgeworfenen Strahles in der Ebene SAE die mit dem auffallenden Strahle SA parallele Linie EF gezogen, so ist der Winkel FEA $=$ SAC $= 2\alpha$. Käme aber bei dieser Beobachtung das Licht von einem sehr entfernten Gegenstande, namentlich von einem Gestirne, wie von der Sonne, so können die ankommenden und aufgefangenen Strahlentheile als parallel angesehen werden und es ist hier gleichgiltig, ob wir den zu beobachtenden Höhenpunkt in S oder in F annehmen. In diesem Falle gilt also die Behauptung:

der von dem leuchtenden Punkte F unmittelbar ankommende Strahl FE macht mit dem vom Spiegel zurückgeworfenen

AE einen Winkel FEA, welcher dem doppelten Höhenwinkel gleich ist.



(Fig. 336.)

Diese Betrachtung findet nun bei dem in Fig. 336 dargestellten Sextanten ihre Anwendung. AB ist ein Kreisbogen, welcher etwas mehr als 60 Grade (Uebertheilung) enthält, die halbirt sind, so daß die 60 Grade 120 numerirte gleiche Theile enthalten; drei vom Mittelpunkte c des zugehörigen Kreises ausgehende Speichen tragen ihn; um c als Axe ist eine kreisrunde Scheibe parallel der Ebene des Ausschnittes drehbar, auf welcher lothrecht ein Spiegel EC befestigt ist. Die Scheibe wird durch einen nach dem Bogen gehenden Schenkel, welchen man Alchidade nennt, gedreht. Die Alchidade läßt sich durch eine Bremsvorrichtung w so an den Bogen drücken, daß sie mit einiger Reibung an ihm hinschleift, um den an ihr befindlichen zur genaueren Messung dienenden Nonius ab anfänglich nur ungefähr und dann mittelst der in den beiden Armen t und t' gehenden Mikrometerschraube uv ganz genau einzustellen. An der Speiche cG ist ein kleinerer Spiegel HJ befestigt, von dessen oberen Hälfte die Spiegelbelegung beseitigt worden ist, so daß man durch das klare Glas an der Gränze des Spiegels einen entfernten Gegenstand unmittelbar und zugleich das von dem ersten Spiegel auf den zweiten geworfene und auch von ihm wieder reflektirte Bild deutlich sehen kann.

Auf der Speiche cF ist diesem Spiegel gegenüber ein Ring mn, durch welchen ein Fernrohr LK gesteckt ist, welches dazu dient, diese beiden

Bilder zu beobachten und sich durch eine auf der Rückseite der Speiche cF angebrachte Schraube etwas heben und senken läßt. Außerdem sind zu beiden Seiten des kleinen Spiegels auf der Speiche cG einige Blendgläser angebracht: das Gewinde rs trägt ein dunkelrothes g, ein grünes h und ein mattrothes i; das Gewinde pq ein mattrothes k und ein grünes l; außerdem läßt sich vor K ein schwarzes Sonnenglas schieben. Zur Handhabung des Instrumentes ist auf der Rückseite der Mittelspeiche bei d ein abwärts gehender Griff.

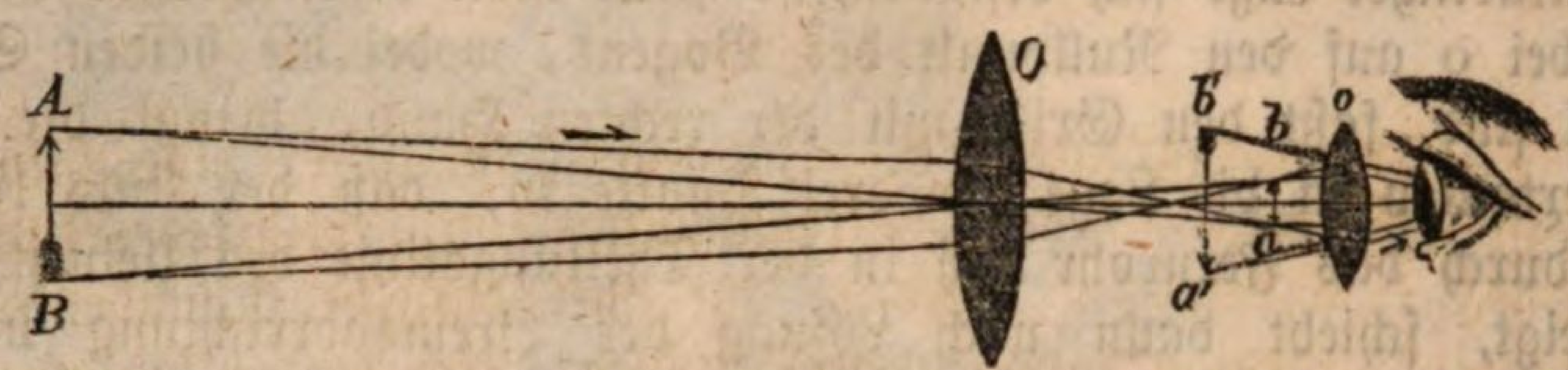
Will man nun mit dem Instrumente die Winkelentfernung zweier Punkte X und Z messen, welche mit dem Auge bei K in einer Ebene von willkürlicher Lage sich befinden, so stellt man die Alchidade mit dem Pfeile bei o auf den Nullpunkt des Bogens, wobei die beiden Spiegel parallel sind, faßt den Griff mit der rechten Hand, bringt die Ebene des Sextanten in die Lage der drei Punkte so, daß der links liegende Punkt durch das Fernrohr sich in der Theilungslinie des kleinen Spiegels zeigt, schiebt dann nach Lösung der Bremsvorrichtung mit der linken Hand die Alchidade so weit fort, bis man den Punkt Z in dem belegten Theile dieses Spiegels sieht; nun stellt man die Bremse fester und schraubt nur an der Mikrometerschraube, bis die beiden Punte X und Z einander völlig decken. Sieht man von K aus die beiden Punkte in derselben Richtung, den X unmittelbar, den Z durch doppelte Zurückwerfung, so ist der Winkel ZKX eingentlich der, welchen die von Z ausgehenden zwei Strahlen, nämlich der unmittelbare und der durch doppelte Zurückwerfung in K bilden, also gleich dem doppelten Drehungswinkel der Alchidade oder dem doppelten Winkel, welchen die Spiegel jetzt bilden. Man muß also den auf dem Bogen des Sextanten abgelesenen Winkel verdoppeln, um die Winkelentfernung der Punkte X und Z für den Standpunkt K zu erhalten. Da die halben Grade mit den ganzen Zahlen bezeichnet sind, so gibt die abgelesene Zahl den gesuchten Winkel ohne Rechnung.

Um einen Höhenwinkel eines sehr entfernten Gegenstandes zu bestimmen, läßt man durch einen künstlichen Horizont das Spiegelbild des Höhenpunktes unmittelbar durch das Glas und Fernrohr gehen und bringt dann das zweite, durch die doppelte Zurückwerfung erhaltene, mit ihm zum Decken. Der vom Instrumente abgelesene Winkel ist aber der doppelte Höhenwinkel (nämlich FEA in Fig. 335) und muß noch durch 2 dividirt werden.

Das astronomische Fernrohr. Durch angemessene Zusammensetzung von zwei oder mehren Linsen oder von Linsen und Spiegeln hat man eine Reihe von Instrumenten hergestellt, durch welche man im Stande ist, entweder sehr entfernte und uns deshalb gar nicht mehr oder nur sehr undeutlich erkennbare Gegenstände gleichsam in größere Nähe zu rücken und dadurch wahrnehmbar zu machen oder auch zwar sehr nahe, aber wegen ihrer Kleinheit für unser Auge ganz oder fast

ganz verschwindende Gegenstände noch und deutlicher erscheinen zu lassen. Jene heißen im Allgemeinen Teleskope, diese Mikroskope.

Die astronomischen Fernrohre gehören zu den Teleskopen, mit welchen man in die weitesten Entfernungen, nämlich in die des unendlichen Himmelsraumes zu sehen und die dort vorhandenen Körper und die Erscheinungen an ihnen zu erforschen beabsichtigt. Damit sie zweckentsprechend seien, müssen sie den Gegenstand stark vergrößern und die Helligkeit wenig vermindern. Daraus ergibt sich, daß sie aus nur wenigen Bestandtheilen zusammengesetzt sein dürfen, damit das Licht von seinem Wege nicht oft und durch verschiedene Mittel abgelenkt werde.



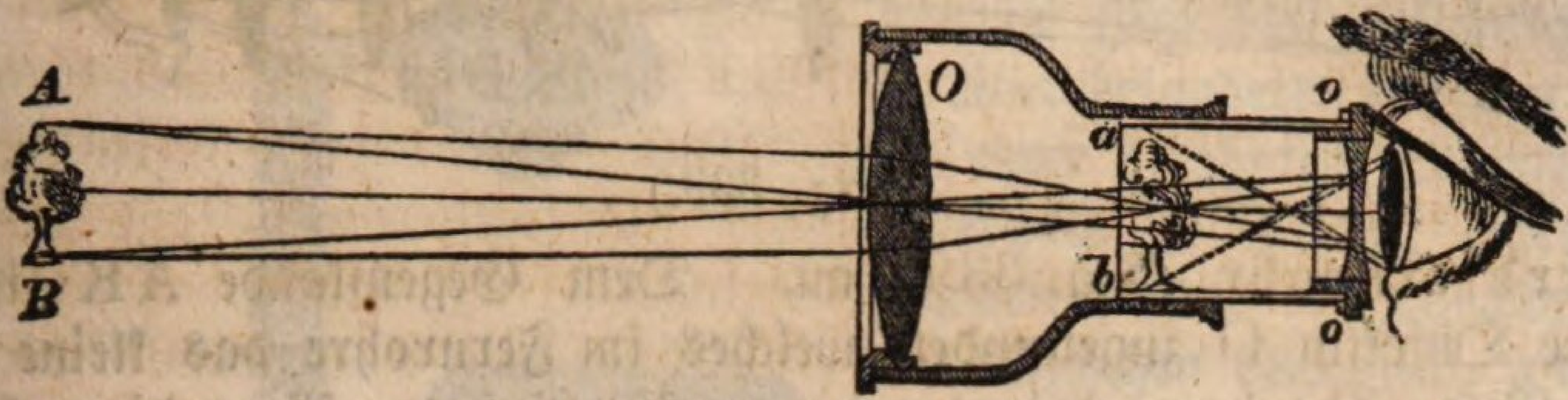
(Fig. 337.)

Fig. 337 stellt das Schema des Instrumentes dar. AB ist ein entfernter Gegenstand; von ihm gelangen die Lichtstrahlen auf eine bikonvexe achromatische und nach Schliff und Beschaffenheit fehlerfreie Linse von möglichst großem Durchmesser und möglichst großer Brennweite; diese dem Objekte zugewendete Linse O, die Objektivlinse, erzeugt von AB ein verkehrtes physisches Bild ab; dieses Bild wird mittelst einer kleineren bikonvexen Linse o, dem Augenglase oder der Okularlinse betrachtet, indem man dieselbe wie ein Leseglas anwendet, d. h. ab innerhalb seiner Brennweite legt. Die Strahlen von ab gelangen durch die Brechung mittelst der Okularlinse konvergirend in das Auge und erzeugen ein größeres Bild a'b', als wenn die Strahlen vom Gegenstande AB selbst kämen. Weil der Sehwinkel von a'b' ein größerer, als der von AB ist, glauben wir den Gegenstand in eine größere Nähe versetzt und sagen, je nach der Beschaffenheit des Instrumentes, es nähere sehr oder wenig.

Um fremdes Licht abzuhalten, werden die Gläser in ein innerhalb geschwärztes Rohr parallel eingesetzt. Außerdem, daß man die Randstrahlen des Objektivglases abblendet, schaltet man an der Stelle, wo das Bild entsteht, noch eine Blende ein. — Die Lichtstärke würde, wenn die Gläser nicht einiges Licht vernichteten, sovielmal die beim Sehen mit bloßem Auge übertreffen, wie oft der Durchmesser der Pupille in dem des abgeblendeten Objektivs enthalten ist.

Die Vergrößerung ist gleich der Brennweite des Objektivs, getheilt durch die des Okulars. Stark vergrößernde Instrumente sind sehr lang. Der Refraktor zu Dorpat vergrößert 700mal. Gegenwärtig ist das Teleskop von Lord Rosse das bedeutendste. — Das berühmte 40=

füßige Teleskop von Herschel hatte im Hintergrunde einen schief gestellten Hohlspiegel, welcher die Strahlen des Gestirns zu einem Bilde vereinigte, welches durch eine bikonvexe Linse an der Vorderseite betrachtet wurde.



(Fig. 338.)

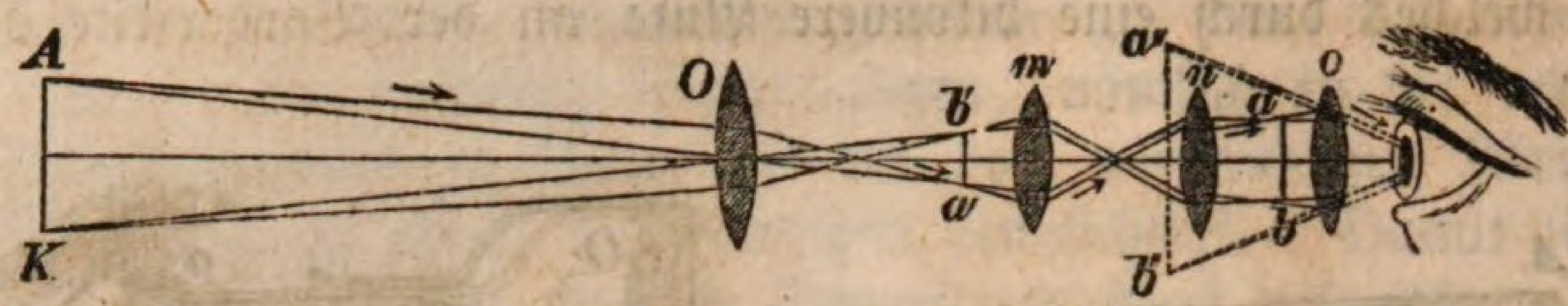
Das Theaterperspektiv. In Fig. 338 ist O eine bikonvexe Objektivlinse, welche in ihrem Brennpunkte ein verkehrtes Bild des Gegenstandes AB bewirken würde. Ehe aber dasselbe zustande kommt, werden die konvergent ankommenden Strahlen durch eine bikonkave Linse oo aufgefangen und dadurch so divergent gemacht, daß sie erst rückwärts verlängert zu einem Bilde ab sich vereinigen, welches dadurch die Stellung des Objektes erlangt und unter einem größeren Gesichtswinkel, als dieses erscheint. Die Entfernung der beiden Gläser ist beinahe dem Unterschiede ihrer Brennweiten gleich und die Stärke der Vergrößerung ist auch gleich dem Quotienten der Brennweiten.

Dieses Instrument hat zwar den Vorzug, daß es die Gegenstände in ihrer unveränderten Lage zeigt, aber es ist zu bedeutenderen Vergrößerungen unfähig, weil die vom Objektivglase gebrochenen Strahlen schon vor ihrer Vereinigung, also an einem Orte, an welchem sie noch einen größeren Raum einnehmen, von dem Okulare müssen aufgefangen werden und, damit letzteres dieses thue, muß es selbst größer sein und eine größere Brennweite haben, so daß es weniger stark vergrößert. Das Instrument hat aber den Vorzug, daß es ziemlich kurz sein kann und dabei 20 bis 30mal vergrößert. Das Okulare ist in einem verschiebbaren Einsatze, damit Kurzsichtige es dem Objekte näher bringen, Weitsichtige entfernen können.

Es gibt eine leichte und interessante Methode, jedes astronomische, den Gegenstand umgekehrt zeigende Fernrohr, augenblicklich in ein terrestrisches oder Erdfernrohr mit gradem Bilde zu verwandeln. Von dem im Fernrohre vorhandenen verkehrten Bilde läßt man die Strahlen durch ein gleichschenkliges rechtwinkliges Prisma so gehen, daß sie auf der Innenseite der dritten ungleichen Prismenfläche gänzlich zurückgeworfen werden, wodurch das Bild umgekehrt wird, wie durch einen horizontal über unser Auge gehaltenen Spiegel.

Weil bei diesem Fernrohre das Gesichtsfeld oder die durch dasselbe erblickte Fläche nicht bedeutend sein kann, so hat man für die Fernsichten

auf der Erdoberfläche auf andere Zusammensetzungen Bedacht genommen. Eine solche gibt



(Fig. 339.)

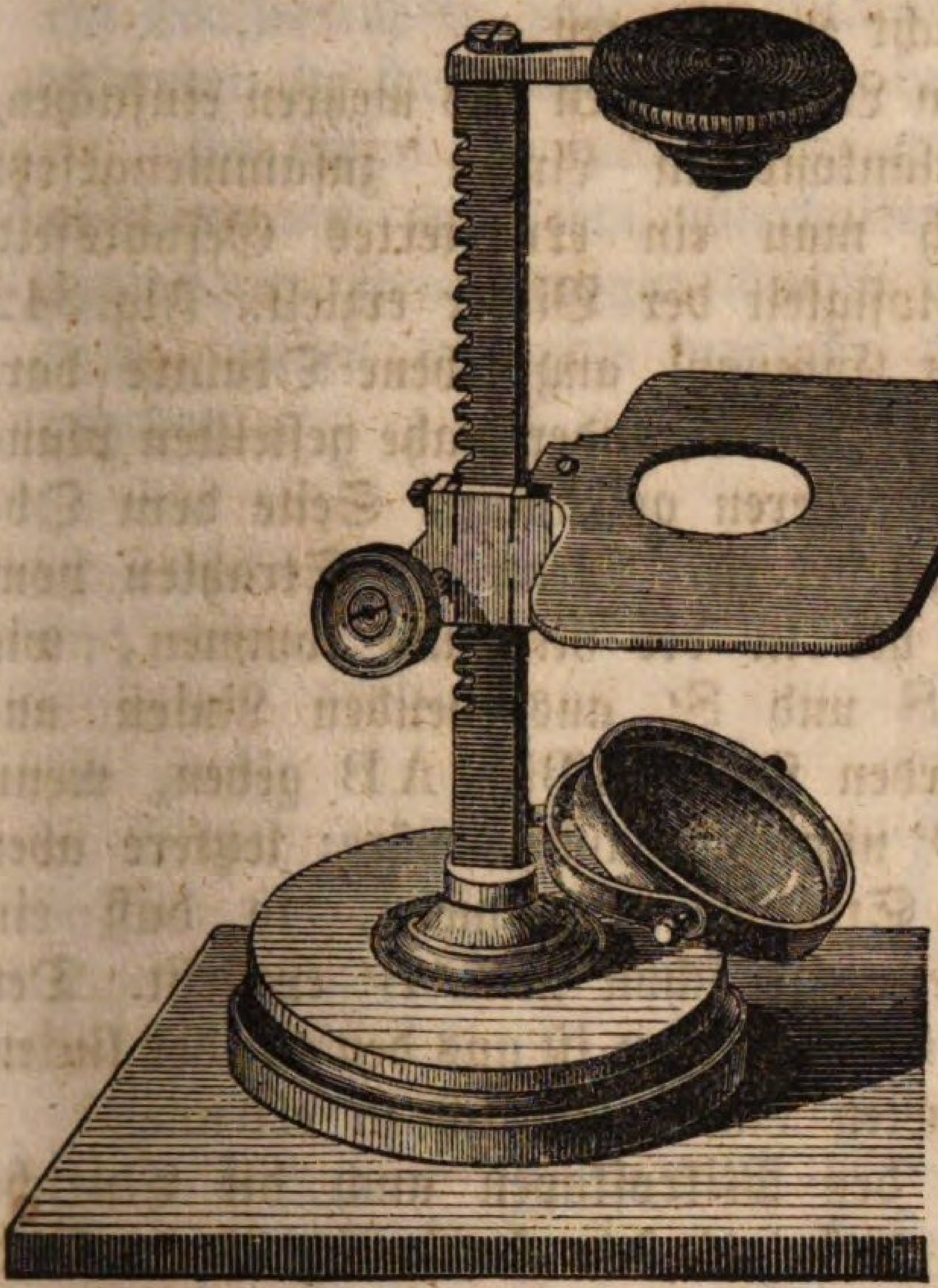
das Erdfernrohr (Fig. 339) an. Dem Gegenstande AK ist das größere Objektiv O zugewendet, welches im Fernrohre das kleine umgekehrte Bild a'b' hervorbringt; eine zweite Linse m fängt die gekreuzten Strahlen auf, sie werden aber erst durch eine dritte n so gebrochen, daß von dem ersten Bilde a'b' ein zweites ab entsteht, welches die Lage des Gegenstandes hat. Dieses zweite Bild wird endlich durch das Okulare o wie durch eine Loupe vergrößert in der Lage a''b'' dargestellt.

Soll das Instrument einigermaßen stark vergrößern, so muß es, wie das astronomische auch ziemlich lang sein. Deshalb macht man ein Rohr, welches aus mehren Einschiebestücken besteht. Die drei Okulargläser haben eine bestimmte Entfernung von einander und befinden sich daher in demselben Rohre befestigt. Die durch die Verschiebung zu bewirkende Abänderung der Entfernung der Okulargläser vom Objektivglase ist auch nothwendig theils wegen der verschiedenen Entfernung der zu betrachtenden Objekte, theils wegen der Beschaffenheit unseres Auges.

Das Mikroskop. Wir haben eine Sehnsucht nicht nur in die Ferne, ja in die unendlichen Fernen des Himmelsraumes zu schauen, sondern auch wissen zu wollen, wie das außerordentlich Kleine gestaltet ist, wie es sich regt und wie es lebt, und was die Natur so klein gestaltet hat, daß es sich unserem bloßen Auge völlig entzieht. Die Instrumente, welche dieses zu leisten uns befähigen, haben in der neueren Zeit die Naturbeschreibung, die Anatomie und Physiologie in einem außerordentlichen Grade gefördert, zu den herrlichsten Aufschlüssen über die Vergangenheit und Gegenwart unseres Erdkörpers geführt und die Geheimnisse der organischen Thätigkeit zu entschleiern vermocht.

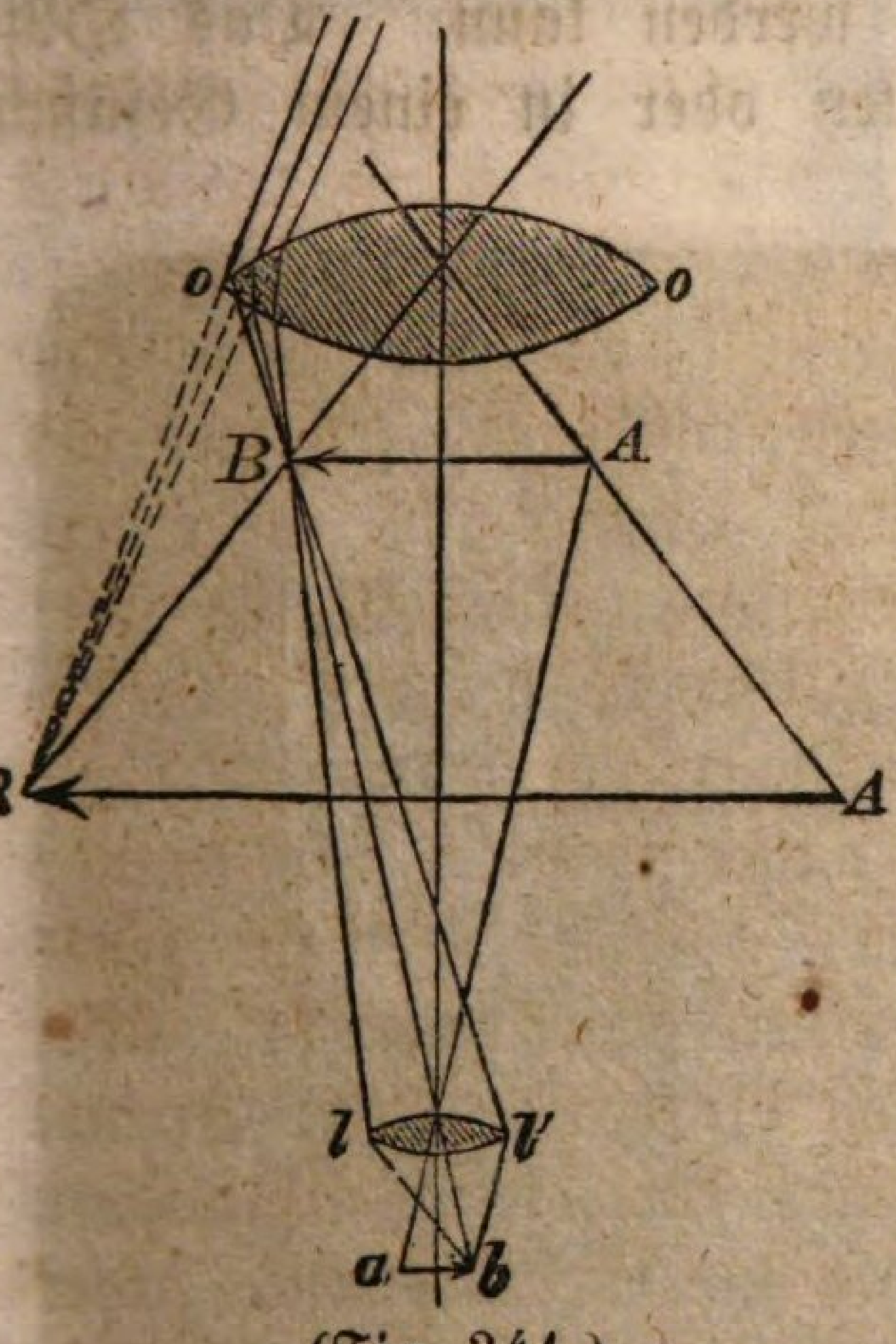
Wenn wir einen Gegenstand dem Auge näher bringen, so können wir ihn und seine Theile wohl besser erkennen, aber es gibt für jedes Auge eine Gränze für diese Annäherung, einen Nahepunkt, über welche hinaus wieder eine größere Undeutlichkeit eintritt. Diese Gränze liegt für die Kurzsichtigen dem Auge näher, als für die Weitsichtigen. Weil nun bei der Annäherung des Gegenstandes der Gesichtswinkel oder die scheinbare Größe (Bd. II., S. 23) wächst, so sind jene eher im Stande, kleine Gegenstände noch zu erkennen, als diese. Um aber unter allen Umständen das Auge zu befähigen, auch innerhalb des Nahepunktes noch deutlich zu erkennen, dienen die Mikroskope.

Einfache Mikroskope sind schon die früher erwähnten Lesegläser und Loupen (Bd. II., S. 74). Da aber für sehr starke Vergrößerungen die Linsen einen sehr kleinen Krümmungsradius haben, also selbst sehr klein sein müssen, so bringt man sie zur bequemeren Handhabung, wie in Fig. 340 ersichtlich ist, in einer besonderen Fassung oben an einer gezahnten Stange an; unterhalb ist mittelst eines gezahnten Rades ein durchbrochenes Tischchen beweglich, um den zu betrachtenden Gegenstand auf eine klare Glasplatte zu legen. Da endlich zum deutlichen Erkennen eine gute Beleuchtung erforderlich ist, so befindet sich unten am Gestelle ein in einem Bügel drehbarer Spiegel, von welchem man das Tages- oder Lampenlicht auf den Gegenstand zurückwerfen läßt. Statt einer einfachen Linse kann man zwei plankonvexe anwenden, die man mit den erhabenen Flächen dicht aneinander legt.



(Fig. 340.)

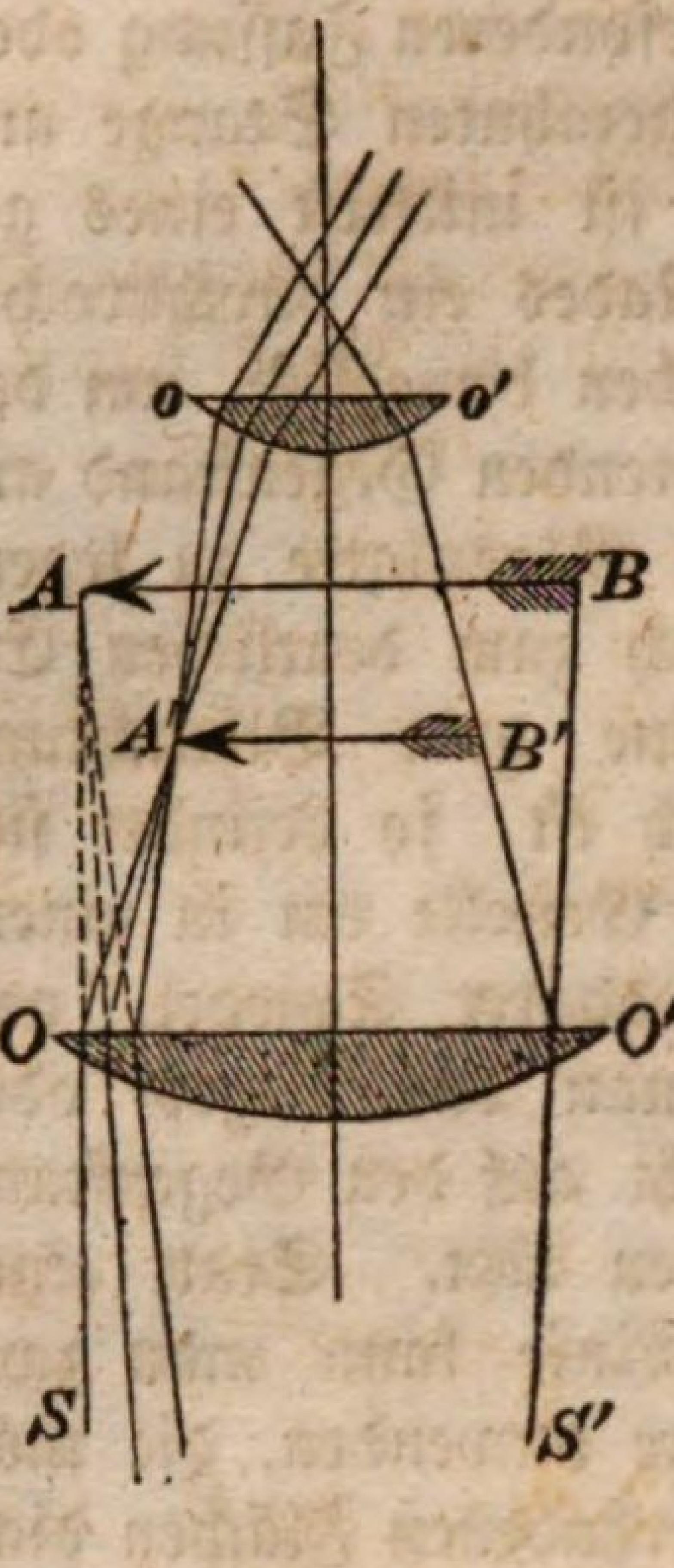
Das **zusammengesetzte Mikroskop** besteht, wie das astronomische Fernrohr, aus zwei bikonvexen Linsen (Fig. 341), die aber in umgekehrter Ordnung angewendet werden, indem die kleinere ll' die Objektivlinse und die größere oo die Okularlinse ist. Beide befinden sich natürlich in einem innerhalb geschwärzten Rohre.



(Fig. 341.)

Legt man unter die kleine möglichst scharfe Sammellinse ll' einen Gegenstand ab außerhalb der Brennweite, aber in die Nähe des Brennpunktes, so entsteht von ihm ein umgekehrtes und stark vergrößertes auf der anderen Seite der Linse, also im Instrumente liegendes Bild, welches hier das der Linse oo näher liegende AB ist. Dieses erste Bild wird nun durch die Linse oo wie durch eine Loupe betrachtet, indem es innerhalb ihrer Brennweite gebracht worden ist, und nun entsteht ein neues wiederum ver-

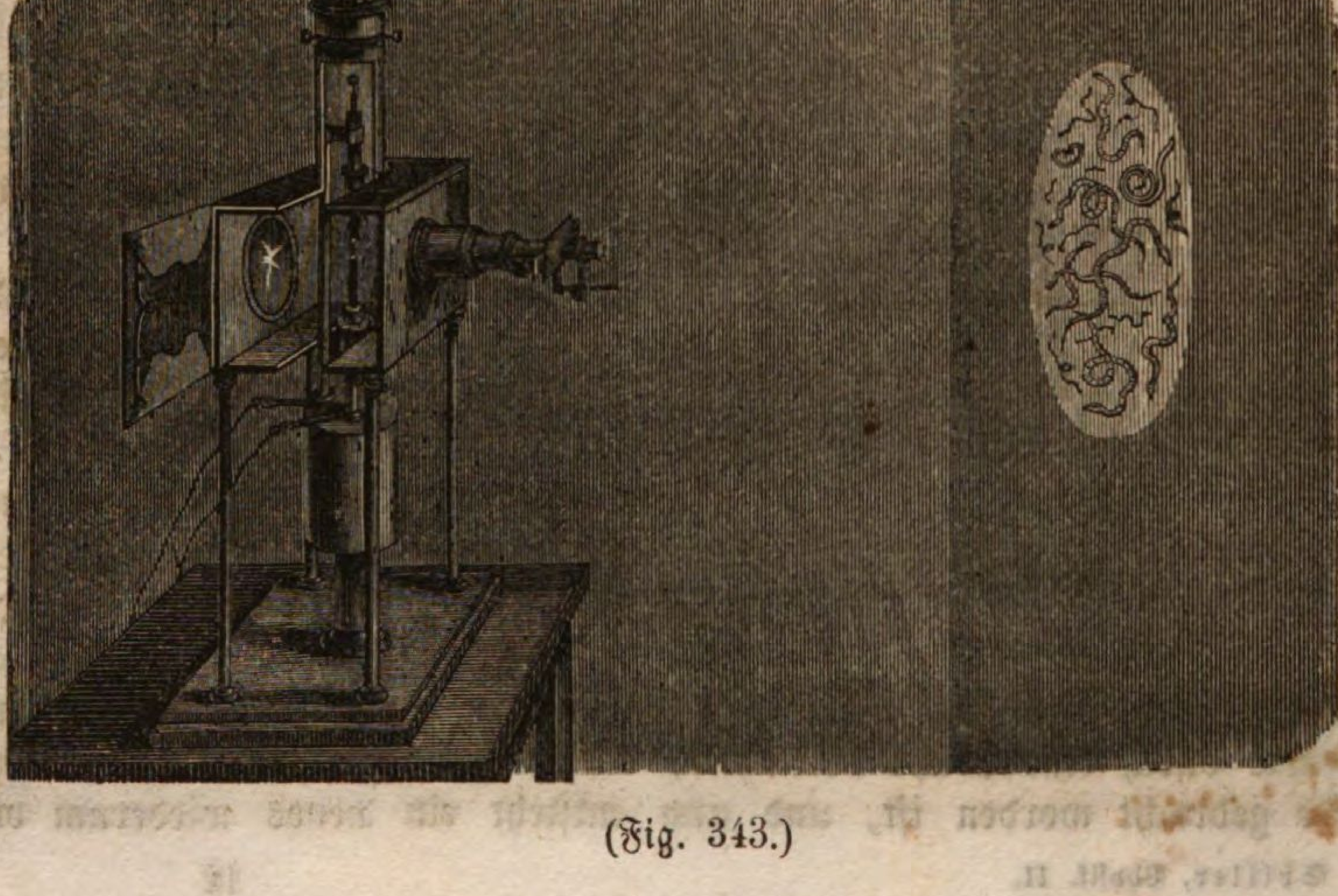
größertes Bild auf derselben Seite der Linse, wie es das darunter gezeichnete AB darstellt. In das über der Okularlinse oo befindliche Auge des Beobachters gelangen nur von dem letzten Bilde die Strahlen, so daß man den Gegenstand umgekehrt sieht. Der Gang der Strahlen ist aus der Zeichnung leicht zu erkennen.



(Fig. 342.)

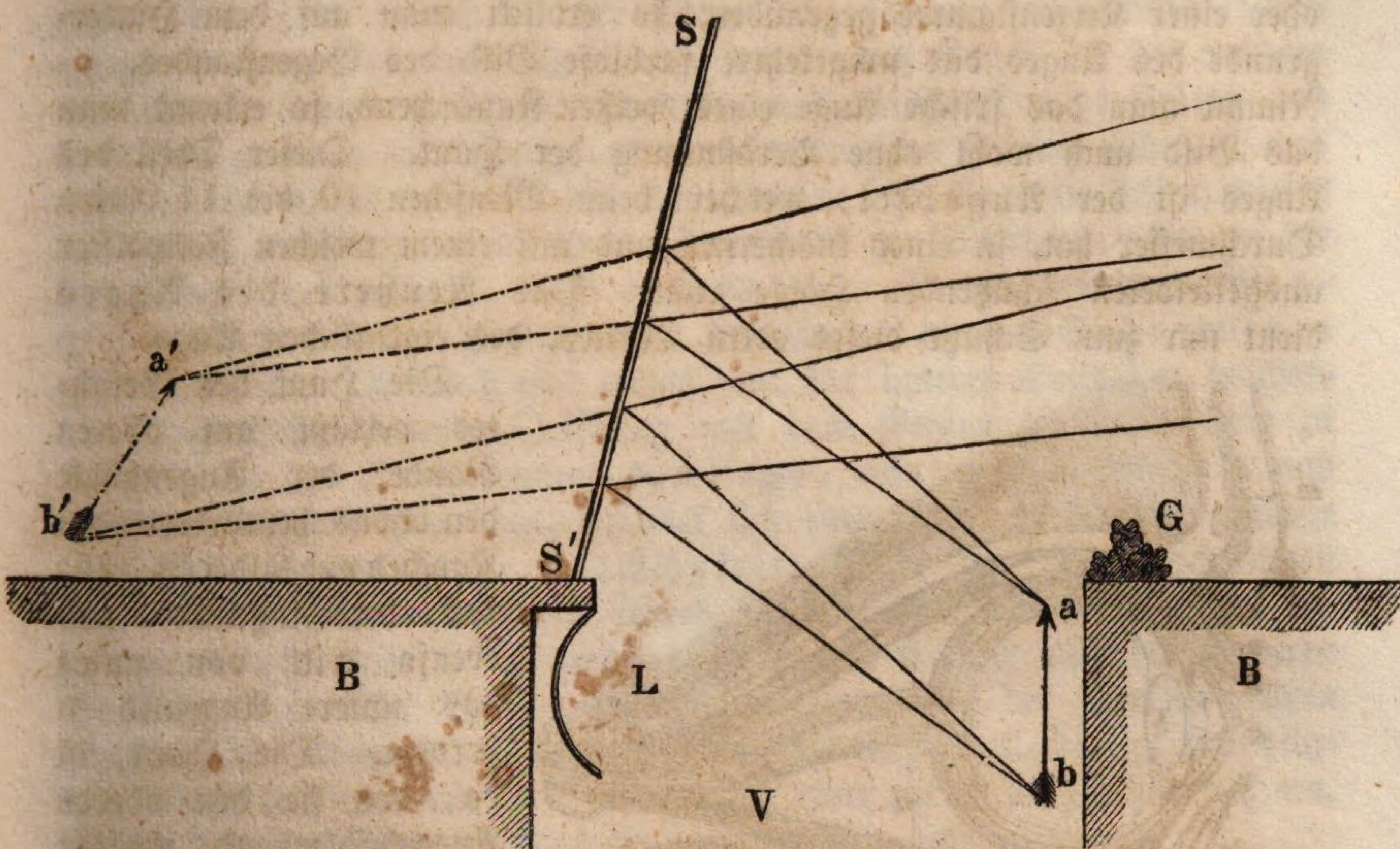
Die beiden Linsen können aus mehren einfachen, namentlich plankonvexen Linsen zusammengesetzt sein, wodurch man ein erweitertes Gesichtsfeld und die Farblosigkeit der Bilder erzielt. Fig. 342 stellt das von Campani angegebene Okulare dar. Es besteht aus zwei einander nahe gestellten plankonvexen Linsen, deren gekrümmte Seite dem Objektivglase zugekehrt ist. Wenn die Strahlen vom Objektivglase her in der Richtung kommen, wie es die von S und S' ausgehenden Linien angeben, so würden sie das Bild AB geben, wenn die Linse OO' nicht vorhanden wäre; letztere aber vereinigt die Strahlen noch mehr, so daß ein etwas kleineres Bild schon in A'B' entsteht. Der weitere Gang der Strahlen ist aus den auf der linken Seite gezeichneten Linien deutlich zu erkennen.

Man hat den Mikroskopen auch die Einrichtung gegeben, daß das sehr stark vergrößerte Bild auf einer weißen Wand aufgefangen und einem größeren Zuschauerkreise sichtbar gemacht werden kann. Das Objekt befindet sich dann zwischen zwei Glasplatten oder in einem Gefäßchen


(Fig. 343.)

mit ebenen Wänden und muß sehr stark beleuchtet werden. Je nach der Beleuchtung heißt das Instrument ein Sonnenmikroskop, ein elektrisches Mikroskop oder Hydrooxygengas-Mikroskop. — Die Fig. 343 stellt eines der zweiten Art dar, wobei sich auf der Wand ein Wassertropfen zeigt, in welchem uns ein reges Leben von Infusionsthierchen in Erstaunen zu setzen vermag.

Es lassen sich aus Linsen, ebenen und Hohlspiegeln noch mancherlei nützliche und angenehm unterhaltende Apparate zusammensetzen, aber die bisherigen Betrachtungen werden ausreichend sein, um in den verschiedenen Fällen sich eine deutliche Vorstellung von ihrer Wirksamkeit zu machen.



(Fig. 344.)

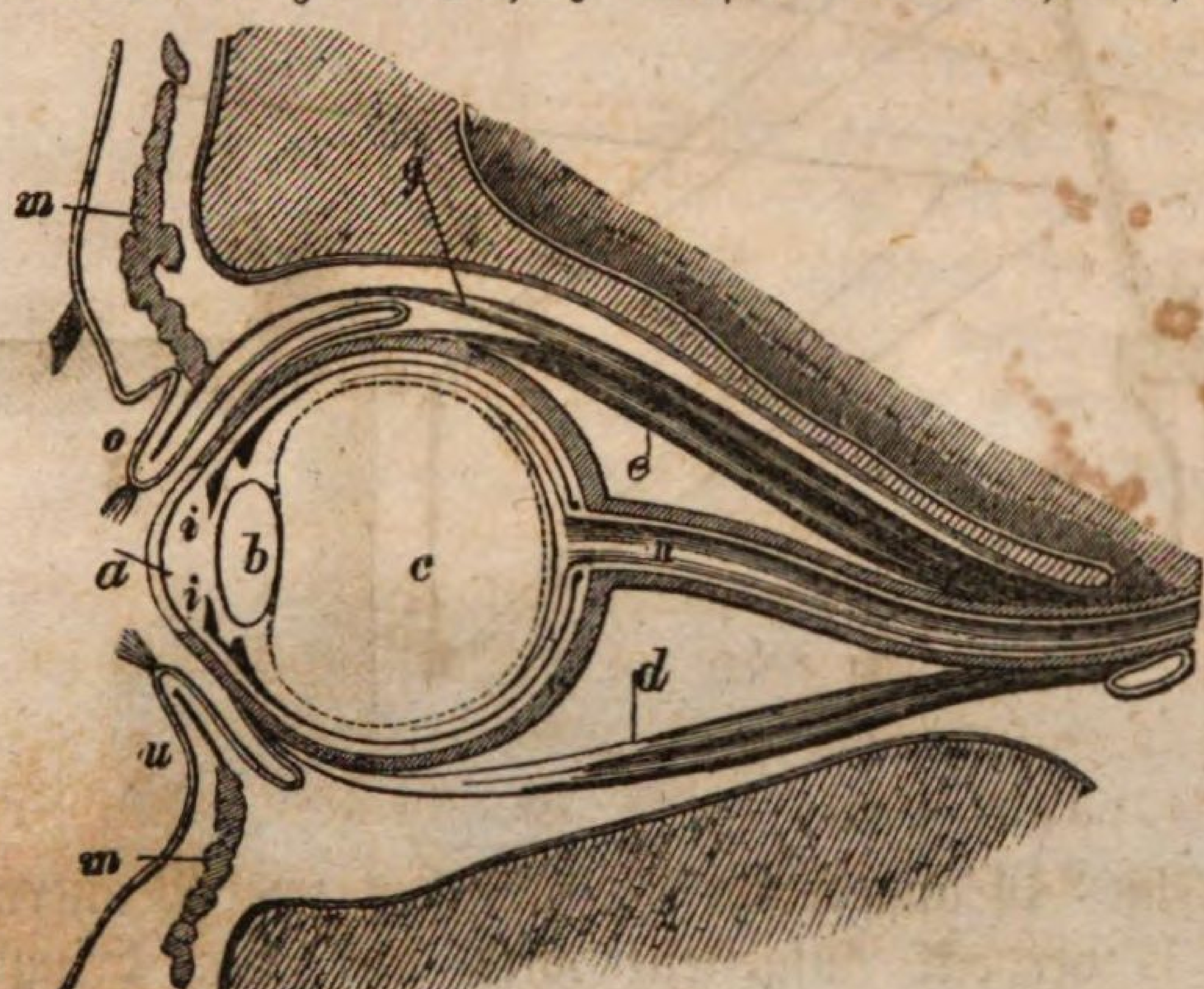
Wenn z. B., wie in Fig 344 angedeutet ist, zwischen zwei Mauern B und B ein Hohlspiegel L verdeckt aufgestellt wird und man bringt einen gut erleuchteten Gegenstand in verkehrter Lage zwischen seinen Brennpunkt und Krümmungsmittelpunkt, so entsteht von ihm in größerer Entfernung ein aufrechtes Luftbild ab; dieses kann als Objekt für einen außerhalb der zwei Wände aufgestellten ebenen Spiegel SS' dienen, welcher ein neues Bild a'b' erzeugt, dessen Strahlen ein auch außerhalb und jenseits befindliches Auge treffen können.

Vom Auge.

Das Auge ist ein so außerordentlich wichtiger Theil unseres Organismus, daß es gerechtfertigt erscheinen wird, wenn wir den Bau

dieses optischen Instrumentes und seinen vielfachen Verrichtungen eine größere Aufmerksamkeit schenken. Wir werden dabei auch veranlaßt sein, Einiges zur Erhaltung der Gesundheit dieses wunderbaren Organes, welches uns die Welt mit ihren Wundern und ihrer Pracht erschließt, anzuführen.

Die Hauptwirkung des Auges ist wesentlich die einer dunklen Kammer. Nimmt man nämlich ein Auge eines frisch geschlachteten Rindes, verdünnt man mit einem scharfen Messer vorsichtig auf der hinteren Seite desselben die äußere undurchsichtige Haut und hält man, nachdem dieses in einem hinreichenden Maße geschehen ist, das Auge einem gut beleuchteten oder leuchtenden Gegenstande, z. B. einem Fenster oder einer Kerzenflamme gegenüber; so erblickt man auf dem Hintergrunde des Auges das umgekehrte farblose Bild des Gegenstandes. — Nimmt man das frische Auge eines weißen Kaninchens, so erkennt man das Bild auch wohl ohne Verdünnung der Haut. Dieser Theil des Auges ist der Augapfel, welcher beim Menschen 10 bis 11 Linien Durchmesser hat, in einer knöchernen und mit einem weichen Fettpolster ausgekleideten schützenden Höhle ruht. Das Aeußere des Auges dient nur zum Schutze dieses edlen Theiles, des eigentlichen Auges.



(Fig. 345.)

Die Haut des Gesichtes verläßt am oberen Rande der Augenhöhle den etwas hervortretenden Knochen und bildet (F. 345) das obere Augenlid o und ebenso tritt von unten das untere Augenlid u hervor. Die Haut ist da, wo sie den oberen Augenhöhlenrand verläßt und ringsum an ihrem Rande mit Haaren besetzt, welches die Augenbrauen und Augenwimpern sind, um durch sie Schweiß, Staub u. a. abzuhalten. Beide Augenlider können durch eine im Umkreise der Augenhöhle liegende Muskelfaserschicht m, an welche sich die zarten schwarz gezeichneten Knorpelplättchen schließen, bis zur Berührung genähert werden; der vom Hintergrunde des Auges nach dem oberen Lide kommende Muskel g dient durch sein Verkürzen dieses wieder zu heben. Die innere Seite der Lider ist schleimig, steht mit der zarten und durchsichtigen Haut, welche den vorderen Theil des Augapfels überzieht, durch ein Häutchen in Verbindung und reinigt bei dem Blinzen das Auge. Außerdem sind noch zahlreiche Drüsen vorhanden,

welche die gelbliche Augenbutter absondern, und nach den inneren Winkeln die Thränenwarzen.

Der Augapfel wird zunächst umschlossen von einer weißen und ziemlich harten Haut, der undurchsichtigen Hornhaut, welche nach vorn stärker gewölbt und durchsichtig ist und deshalb die durchsichtige Hornhaut heißt. Jene ist in der Zeichnung dunkel schraffirt und diese mit a bezeichnet. Innerhalb der weißen Haut liegt eine mit vielen zarten und dunkel gefärbten Zellen versehene andere Haut, die Aderhaut, welche sich erst vorn an der durchsichtigen Hornhaut von jener ablöst und als Regenbogenhaut oder Iris ii mit verschiedener Färbung bei verschiedenen Menschen in ebener Richtung ausgespannt fortgeht. Die Iris enthält in der Mitte eine schwarz erscheinende Oeffnung, die Pupille, und theilt das Innere des Auges in die vordere und hintere Kammer; sie enthält kreis- und strahlenförmige Fasern und ist daher zu einer Verengung und Erweiterung der Pupille fähig. Jenes geschieht im Dunkeln, um mehr Lichtstrahlen ins Auge zu lassen, dieses im Hellen, um Licht abzuhalten. Innerhalb der Aderhaut, bis an die Regenbogenhaut reichend, liegt die aus feinen Nerven bestehende Netzhaut, welche sich im Hintergrunde des Auges in den Sehnerven n zusammenzieht, um durch eine etwas nach der inneren Seite der knöchernen Augenhöhle liegende Oeffnung mit dem Gehirn in Verbindung zu treten. In der Vorderkammer des Auges, also zwischen der Iris und der durchsichtigen Hornhaut, befindet sich eine durchsichtige etwas salzige Flüssigkeit, die wässrige Feuchtigkeit; hinter der Iris nach innen liegt die ringsum durch ein feines Häutchen an die Augenkapsel befestigte Krystalllinse b, welche ziemlich hart und auf der hinteren Seite mehr gewölbt ist, als auf der vorderen. In der ziemlich großen hinteren Augenkammer c befindet sich eine mehr gallertartige Feuchtigkeit, die Glasfeuchtigkeit, welche von einer zarten durchsichtigen Haut, die in der Zeichnung punktirt ist, eingeschlossen wird.

Die durch die Krümmungsmittelpunkte der Krystalllinse und die Mitte der Pupille gehende grade Linie heißt die Augenaxe; bei ihrer Verlängerung trifft sie eine etwas verdünnte und gelblich gefärbte Stelle von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ Linie Durchmesser, den gelben Fleck der Netzhaut, welche das Sehen vorzüglich vermittelt. Es zeigen sich hier äußerst zarte, glasartige und palisadenartig nebeneinander gestellte Stäbchen, die sich am gelben Flecke flaschenförmig verdicken und Zapfen heißen. Die Stelle, an welcher der Sehnerv eintritt und welche etwas seitwärts vom gelben Flecke nach innen liegt, ist für das Sehen völlig ungeeignet und heißt deshalb der dunkle Punkt oder das Zentralloch.

Die Beweglichkeit des Auges wird durch sechs in der Augenhöhle liegende Muskeln, vier grade und zwei schiefe, erreicht; jene entspringen am Umfange des Zentralloches, der eine e lauft über, ein anderer d geht unter dem Augapfel hin, und je einer zu den beiden Seiten des-

selben, so daß sie den Augapfel nach allen vier Seiten wenden können. Das Schielen rührt meistens von der Verkürzung eines derselben her; wird er von dem Augapfel etwas abgelöst, so ist es gehoben, denn er wächst dahinter bald wieder an. Man kann das Schielen auch erzeugen und wieder beseitigen, wie es an Gänsen versucht worden ist. Die Muskeln können sogar die künstlichen Augen in Bewegung setzen, welche man den natürlichen täuschend nachzuahmen versteht. — Nachdem wir den Bau des Auges kennen gelernt haben, gehen wir zu seinen Verrichtungen über. Von den das Auge treffenden Lichtstrahlen können nur die, welche die durchsichtige Hornhaut treffen, ins Innere gelangen. Weil diese konvex gekrümmt und wie auch die wässrige Feuchtigkeit ein dichteres Mittel, als die Luft ist, werden die Strahlen zur Augenaxe gebrochen. Die Aderhaut hält die Randstrahlen ab und wirkt wie eine Blende, so daß in und durch die Pupille nur die mittelsten (zentralen) Strahlen auf die Krystalllinse gelangen. Durch diese werden sie nicht nur sehr stark gebrochen, sondern auch wegen ihrer schichtenförmigen Bildung und eigenthümlicher Gestalt farblos (achromatisch) gemacht. Nachdem sie noch die Glasfeuchtigkeit durchgangen sind, bildet sich auf der Netzhaut das umgekehrte Bild des äußeren Gegenstandes. Die Glasfeuchtigkeit hält die Krystalllinse in einer solchen Entfernung von der Netzhaut, daß diese im Brennpunkte des Auges bleibt. Die schwärzliche Aderhaut vernichtet die etwa im Auge noch zerstreut eindringenden und im Innern vorkommenden Strahlen, damit das Bild recht scharf werde.

Die Ueberzeugung davon, daß die Stellen, in welchen die beiden Sehnerven in die Augen treten, für das Sehen unempfänglich sind, ist leicht zu erhalten. Macht man auf weißem Papier zwei etwa 1 ½ Zoll von einander entfernte schwarze Punkte und sieht man, indem man sie den Augen in gewisser Entfernung parallel hält, entweder blos mit dem rechten Auge den links liegenden Punkt oder blos mit dem linken Auge den rechts befindlichen Punkt an, so verschwindet der andere Punkt dem sehenden Auge, wenn man sie beide in der angenommenen Lage vorüber führt. Das Bild des verschwundenen Punktes erscheint hierbei grade auf dem Zentralloche.

So wie man mit gesunden Ohren die außerhalb derselben erregten Schallschwingungen nicht hört, wenn man nicht seine Aufmerksamkeit darauf richtet, ebenso sieht man mit offenen gesunden Augen einen Gegenstand unter denselben Bedingungen nicht. In beiden Fällen werden die Nerven durch einen von außen kommenden Bewegungszustand selbst in Bewegung gesetzt: in jenem durch die Schwingungen irdischer Körper; in diesem durch Aetherschwingungen, welche die Organe auch ergreifen. Aber ohne daß von diesen wie auch von den anderen Nerven, z. B. denen des Tastsinnes, eine zu unserem Gehirn bewußte Vermittelung stattfindet, haben wir keine Empfindung von Schall, Licht, Wärme,

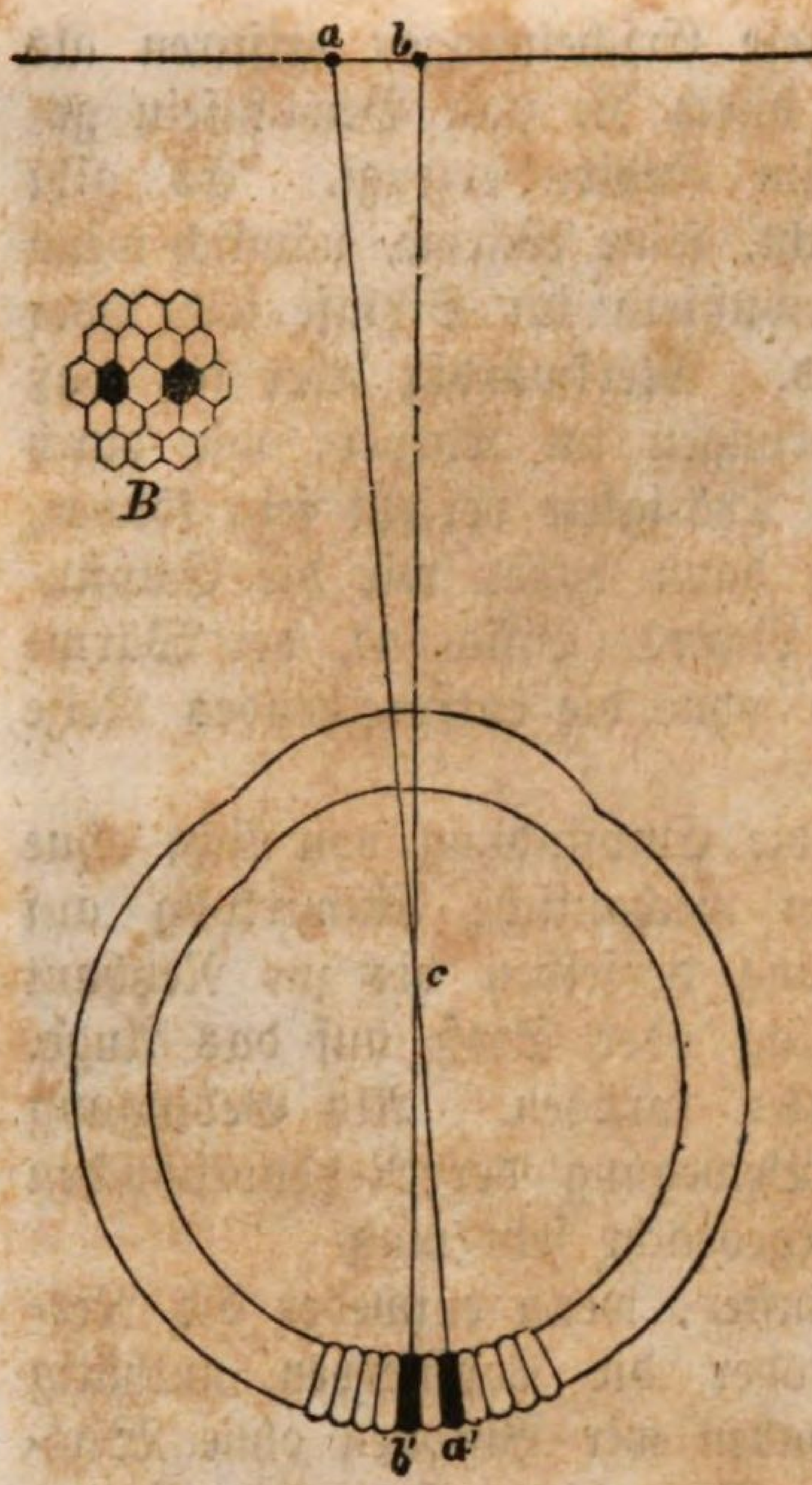
ja von den Körpern überhaupt, oder diese Erscheinungen existiren als solche nicht außer uns, sondern werden durch die zum Bewußtsein gelangende Erregung unserer Nerven erst im Gehirn erzeugt. Es gibt also in zwei Fällen keinen Schall, keir Licht, keine Wärme, nämlich wenn entweder die Aufmerksamkeit und das Bewußsein im Schlafe fehlt oder wenn die Nerven krank und unthätig sind. Merkwürdig aber ist, daß die Nerven durch eigenthümliche Veränderungen im Körper, wie durch allzugroßen Blutandrang, in eine solche Thätigkeit versetzt sein können, wie durch eine Erregung von außen und dann haben wir die Empfindungen des Schalles (Ohrenklingen), des Lichtes (Visionen), der Wärme oder Kälte (Fieberhitze und Kälte) auch ohne die entsprechenden Reize von außen.

Funkensehen. Aber wir können die Empfindung von Licht ohne eine äußere Quelle auch durch eine rein mechanische Einwirkung auf den Augapfel und durch die Fortpflanzung derselben bis zur Netzhaut erlangen, wie durch einen heftigen Schlag oder Stoß auf das Auge. Wir sehen dann gewissermaßen Feuerfunken sprühen. Als Bedingung der Lichtempfindung ist also allein die Bewegung der Netzhautstäbchen anzusehen, gleichgiltig, wie dieselbe hervorgebracht sein mag.

Die Welt wäre also lautlos und finster, wenn entweder die Nerven der betreffenden Organe krankhaft oder die Kopfnerven unthätig wären. Sind letztere allein thätig, so haben wir Visionen ohne Wirklichkeit. — Aus solchen und ähnlichen Betrachtungen haben Naturphilosophen die Existenz des Stoffes überhaupt in Abrede gestellt; dieser Ansicht widerspricht aber die Wirklichkeit allzusehr, als daß wir ihr blinden Glauben schenken könnten.

Daß wir, ungeachtet das Netzhautbildchen verkehrt ist, den Gegenstand doch in der richtigen Lage wahrnehmen, liegt darin, daß wir dieses Bild nicht sehen, sondern empfinden. Wir versetzen den Ort, von welchem Lichtstrahlen ausgehen, stets nach der Richtung hin, in welcher die Netzhaut unmittelbar getroffen wird. Die unten eintreffenden Strahlen kommen von oben, die oben eintreffenden von unten u. s. w., da die Lichtstrahlen innerhalb des Auges einander durchschneiden

Gränze des Sehens. Das auf der Netzhaut entstehende Bildchen steht in räumlicher Hinsicht in genauer Beziehung zu der Entfernung und Größe des äußeren Gegenstandes und die Menge der von dem Bildchen eingenommenen Stäbchen und Zapfen steht wieder mit der zum Bewußtsein gelangenden Erregung im genauesten Zusammenhange. Dieses läßt sich aus Fig. 346 entnehmen, wo im Hintergrunde des Auges ein vergrößerter Theil des gelben Fleckes mit seinen mosaikartig geordneten Zapfen im Querschnitte und seitwärts bei B in der Vorderansicht dargestellt ist. Jedes Stäbchen wirkt für sich wie eine Taste und der Nerv telegraphirt den empfangenen Eindruck an das Gehirn, wo er auf eine uns völlig unbekannte Weise zu unserem Bewußt-



(Fig. 346.)

sein gelangt. Sollen nun zwei äußere Punkte a und b in uns abgesonderte Eindrücke hervorbringen, so müssen die von ihnen ausgehenden und im Auge bei c unter dem Sehwinkel acb einander durchschneidenden Strahlen auch auf zwei besondere Zapfen a' und b' eintreffen. Bedeuten a und b zwei Punkte und entfernt man sich von ihnen, so treten sie, indem der Sehwinkel abnimmt, endlich dicht aneinander und dann werden auch a' und b' nebeneinander liegen. Wird aber der Winkel kleiner als 1 Sekunde, so fallen die Punkte scheinbar aufeinander und wir empfangen auch nur von einem Zapfen eine optische Nachricht.

Bisweilen erscheinen uns selbst ganz nahe und nicht etwa von Dünsten umgebene Gegenstände, wie z. B. eine Kerzenflamme, selbst bei übrigens gesunden Augen von farbigen Kreisen mit Wiederholung der Farbenfolge von Roth zu Blau umgeben. Dies liegt nur daran, daß die Oberfläche des Auges nicht ganz rein, sondern schleimig ist, wie es öfters der Fall ist, wenn man die Augenlider lange geschlossen hat. Die Folge der Farben ist entgegengesetzt der beim Regenbogen.

Das Binokularsehen. Ferner ist bemerkenswerth, daß wir, wenn die Augen gesund sind, einen einzeln uns vorgehaltenen Gegenstand auch nur einzeln sehen, obwohl beim Sehen mit beiden Augen oder dem Binokularsehen in jedem der beiden Augen ein Netzhautbildchen entsteht. In diesem Falle sind die Verlängerungen der Augenaxen stets nach dem betrachteten Punkte gerichtet. Man erkennt dieses sehr leicht, wenn man den Punkt den Augen allmählig näher bringt, daran, daß der Winkel, welchen die verlängerten Augenaxen bilden, immer größer wird, damit das Bild auf den gelben Fleck der Netzhaut beider Augen treffe. Wenn man die Netzhäute beider Augen so aufeinander legen könnte, daß die Mitten der gelben Flecke zusammenfielen, so könnten die beiden Bilder zum Decken gebracht werden. Es sind also die gleichgelegenen Nervenpartien auf beiden Netzhäuten nur die Verzweigungen eines gemeinschaftlichen zum Gehirne führenden Nervenstammes. Daß wir mit beiden gleich gesunden Augen einen Gegenstand deutlicher erkennen, als blos mit dem einen Auge, ist ebenso natürlich, als wie wir

mit beiden Ohren gleichzeitig besser hören, als mit dem einen. Wenn wir auch mit den beiden Ohren nach zwei entgegengesetzten Seiten hören, so erscheint uns ein einfacher Schall nicht als ein doppelter, ebensowenig, als ein Gegenstand, welchen wir mit beiden Händen bei geschlossenen Augen umfassen, doppelt wird. Es ist ein großes Glück, daß uns die Verletzung des einen Auges noch nicht blind macht. — Aber auch wenn wir den Augen mehre Gegenstände gleichzeitig gegenüber halten, erscheint uns dann keiner von ihnen doppelt, wenn wir nur einen derselben aufmerksam betrachten. Die neben diesem befindlichen haben zwar jeder auch ihre Netzhautbildchen, aber diese Bilder folgen in beiden Augen in derselben Ordnung aufeinander oder haben eine symmetrische Lage, wenn auch von den Mitten aus in umgekehrter Aufeinanderfolge. Daß die anderen Gegenstände weniger deutlich erscheinen, ist natürlich, weil ihre Bilder nicht auf den gelben Fleck fallen.

Es ist nun leicht einzusehen, daß wir unter Umständen nicht blos mit beiden Augen oder beim Binokularsehen, sondern selbst schon mit einem Auge einen einzelnen Gegenstand doppelt sehen können, nämlich wenn sich im ersten Falle von ihm auf unsymmetrischen Stellen der beiden Augen die Bilder gestalten oder wenn sich auf dem einen Auge zwei Bilder erzeugen.

Ein einzelner Gegenstand erscheint, mit beiden Augen betrachtet, doppelt, wenn man die Augenaxen in eine unnatürliche Lage gegeneinander bringt, mag es nun sein, daß man zu schielen sich zwingt oder daß man auf das eine Auge einen Seitendruck ausübt. Ferner, wenn man von zwei ungleich weit entfernten Punkten nur den einen scharf ansieht und den anderen nur nebenbei beachtet. Der letztere, mag es nun der nähere oder der entferntere sein, erscheint dann jedesmal doppelt. Ist der entfernte Punkt der fixirte, so erscheint der nähere dem rechten Auge links, dem linken Auge rechts; ist der nähere Punkt der fixirte, so erblickt das rechte Auge den Punkt rechts auch rechts, das linke Auge den Punkt links auch links von dem näheren Punkte. In beiden Fällen kann man sich davon überzeugen, wenn man abwechselnd das rechte und das linke Auge schließt. Im ersten Falle liegt das Netzhautbild des entfernteren Punktes im rechten Auge rechts, im linken Auge links von der Mitte. — Der erwähnte Versuch läßt sich leicht anstellen, wenn man in der Entfernung von etwa 8 Schritten ein brennendes Licht und vor ihm ein dunkles Stäbchen 8 bis 10 Zolle von den Augen entfernt aufstellt.

Wenn man den Scheitel eines nur wenig geöffneten Zirkels zwischen die beiden Augen anlegt und den Zirkel etwas herabneigt, so sieht man jeden der beiden Schenkel mit jedem Auge, also vier Schenkel, wenn nicht etwa die Nase einen derselben verdeckt, und die beiden mittleren können zum Kreuzen gebracht werden. — Einen ähnlichen Versuch kann

man mit einem weißen Bande anstellen, welches man um den Hals legt und zu einem Winkel anspannt.

Mit einem Auge sieht man einen Gegenstand doppelt, wenn man durch zwei in einer Entfernung von etwa $^1/_3$ Linien auf einem steifen Papiere angebrachte ganz kleine Oeffnungen, welche man dem Auge sehr nahe hält, auf einen jenseits des Papieres entweder allzunahe oder allzuentfernt gehaltenen kleinen Körper, z. B. eine Stecknadel, sieht. Wird die Nadel allzunahe gehalten, so durchkreuzen die durch die Oeffnungen gegangenen feinen Strahlenbündel erst hinter der Netzhaut; wird sie allzuentfernt gehalten, schon vor ihr, so daß in jedem Falle auf ihr zwei, wenn auch nicht ganz scharfe Bilder entstehen. Es gibt aber jenseits des Papieres eine Stelle, in welcher die Nadel nur einfach erscheint, weil nur ein Bild auf der Netzhaut entsteht und ihre Entfernung vom Auge ist die Weite des deutlichen Sehens.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich, daß symmetrisch gelegene Stäbchen oder Zapfen der Netzhaut eine gemeinschaftliche Nervenverbindung mit dem Gehirne haben müssen, unsymmetrisch gelegene aber verschiedene. Die Anatomie des Auges ergibt auch die Anzahl der Nervenfasern des Sehnervens viel geringer, als die der Stäbchen und Zapfen auf beiden Augen. — Mit den Gefühlsnerven hat es eine ähnliche Bewandtniß. Die an den Berührungsstellen zweier benachbarten Finger in ihrer natürlichen Lage (die rechte Seite des einen und die linke des anderen) befindlichen Nerven sind die Ausläufer desselben Stammes; aber die an den beiden äußeren Seiten derselben zwei Finger nicht. Rollt man daher ein einzelnes Kügelchen, z. B. eine kleine Erbse, im ersten Falle zwischen den beiden Fingern, so fühlt man auch nur eines; kreuzt man aber die Finger, so daß das Kügelchen beim Rollen die beiden äußeren Seiten der Finger gleichzeitig berührt, so fühlt man in überraschender Weise das eine Kügelchen doppelt.

Das Sehen mit beiden Augen dient wesentlich zur Unterstützung unseres Urtheils über die wahren Entfernungen der Gegenstände. Wenn wir bei einer gewissen Größe der Netzhautbilder die Augenaxen in eine sehr konvergente Stellung bringen müssen, um einen Gegenstand deutlich zu erkennen, so werden wir ihn für näher halten, als wenn bei seinem Anblicke die Augenaxen in einer mehr parallelen Lage sich befinden. Welche andere Umstände noch einwirken zur Beurtheilung der wahren Entfernung und Größe der Gegenstände, ist früher schon erwähnt worden. (Vergl. Bd. II., S. 22).

Von besonderem Interesse sind bei dem Binokularsehen die stereoskopischen Erscheinungen. Wenn wir auf eine vor uns ausgebreitete nahe Landschaft hinblicken, so befähigt uns die Verschiedenheit der scheinbaren Größe von den Gegenständen, deren wahre uns aus der Erfahrung bekannt ist, ferner der verschiedenen Grad der Helligkeit, mit welcher sie uns erscheinen und die Vertheilung der Schatten sowohl bei

verschiedenen, als an einzelnen Körpern zu dem Urtheile über die verschiedene Lage und die Gestalt der Gegenstände; es treten die einzelnen als selbstständig vor den anderen wirklich körperlich oder plastisch hervor. Mangeln uns jene Kennzeichen, so erscheint vor uns ein auf eine einzige Fläche ausgespanntes Gemälde. Will der Maler auf einer Ebene uns ein landschaftliches oder anderes Gemälde täuschend vorführen, so hat er mit der größten Sorgfalt auf jene Merkmale der Perspektive zu achten.

Wenn wir bei derselben Stellung des Kopfes einen nicht sehr entfernten Gegenstand abwechselnd mit nur dem einen Auge ansehen, so zeigen sich zwei verschiedene Ansichten: das linke Auge sieht einen Theil der linken Seite, welcher dem rechten verdeckt ist und umgekehrt. Wenn man nun zwei solche Ansichten photographisch, also ganz treu, aufnimmt und sie nebeneinander jedem Auge die zu ihm gehörige zum Anblicke getrennt darbietet; so zeigt sich in der überraschendsten Weise das ganze Bild vollkommen plastisch, sobald es gelungen ist, beide Bilder beim Anblicke zum Decken zu bringen. Dies gelingt zwei vollkommen gleich beschaffenen und gesunden Augen sehr leicht; sowie aber die beiden Augen irgend eine Verschiedenheit darbieten, kostet es einige Zeit und Anstrengung, ehe das Bild plastisch aus dem Grunde gleichsam hervorwächst. — Die beiden in der That verschiedenen Netzhautbilder werden zu einem Ganzen zusammengesetzt und als solches zu unserem Bewußtsein gebracht. — Wie die beiden Bilder einzeln zu den beiden Augen gelangen, ob durch Linsen, Spiegel oder Prismen ist vollkommen gleichgiltig. Es reichen sogar zwei Oeffnungen in einem Papiere hin, wenn sie die Entfernung der beiden Augen von einander und etwa 2,3 Linien Durchmesser haben. Man nähert das Blatt Papier, während man die Doppelzeichnung ansieht, so weit, bis beide Oeffnungen in eine und beide Bilder in eines verschwimmen und dann erscheint das Reliefbild.

Hierher gehört noch eine ganze Reihe recht interessanter Beobachtungen, welche auch einen praktischen Nutzen gewähren. Wir wissen, daß die Kalkspathkrystalle in ihrer natürlichen Form das Licht doppelt brechen, oder daß es dieselben mit einer zweifachen Geschwindigkeit durchgeht. Betrachtet man eine ebene Zeichnung unter dem Krystalle nur mit einem Auge darüber, so erscheint das Doppelbild in einer Ebene; betrachtet man sie mit beiden Augen, so erscheinen die beiden Bilder in verschiedenen Ebenen. Fertigt man nun z. B. eine Druckschrift an, wie sie sich binokular durch einen Kalkspath gezeigt hat, und betrachtet man durch ein Stereoskop, in welchem auf der einen Seite das Original, auf der anderen die Ansicht derselben durch den Krystall liegt, beide Schriften; so zeigt sich die überraschende Erscheinung, daß entweder die einzelnen Zeilen oder die einzelnen Worte derselben Zeile, ja selbst die einzelnen Buchstaben desselben Wortes in ganz verschieden entfernten Flächen erscheinen. Wenn also mit doppelten Textzeilen mehre Worte in einer

Zeile hintereinander, auf dem einen Bilde in etwas größeren Abständen, als auf dem anderen gedruckt sind, so zeigen die Worte im Stereoskope sich treppenförmig, Ist also in den beiden Zeichnungen nicht die absoluteste Uebereinstimmung, so zeigt diesen Mangel das Stereoskop. — Auf diese Weise kann man eine falsche Banknote leicht von einer ächten, einen Nachdruck vom Originale leicht unterscheiden, denn die geringste Verschiedenheit zeigt sich sofort im Stereoskope. — Ja, wenn sogar mit demselben Prägestempel aus verschiedenen Metallen und Metalllegirungen Münzen geprägt werden, so kann man dies im Stereoskope erkennen, indem sich beim Decken entweder in der Münze eine kesselförmige Vertiefung oder eine ähnliche Erhabenheit zeigt. Die Gepräge haben nämlich nicht gleiche Tiefe wegen der ungleichen Härte der Metalle. — Man kann ferner untersuchen, ob die Theilung zweier Maßstäbe absolut dieselbe und genau ist. — Auch sogar für die Astronomie erwächst daraus ein Nutzen. Wenn man die Stellung zweier einen Doppelstern bildenden Sterne stereoskopisch aufgenommen hat, so läßt sich aus einer späteren Aufnahme, welche scheinbar dieselbe Stellung zeigt, durch die stereoskopische Betrachtung beider Aufnahmen erkennen, ob sie auch wirklich dieselbe ist.

Man hat endlich auch teleskopische und mikroskopische Stereoskope konstruirt, um mit jenen entfernte Gegenstände (Landschaften), mit diesen nahe und kleine Gegenstände plastisch zu sehen. Bei jenen müssen die Objektivgläser der beiden Teleskope 4 Fuß und darüber entfernt, bei diesen ganz nahe und gegen das Objekt hin gerichtet sein; bei beiden haben die Okulare die Entfernung der beiden Augen.

Es ist übrigens noch bemerkenswerth, daß man in derselben Ebene befindliche und verschieden gefärbte Dinge auch ohne alle Hilfsmittel in verschiedenen Ebenen sehen kann. Es ist mir selbst, freilich bei einiger Anstrengung der Augen, wiederholt gelungen, bei dem grauen durchscheinenden Zeuge mit schwarzen Kreuzen und Punkten, welches zur Fensterrolle diente, in einer Entfernung von etwa 3 Fuß die schwarze Zeichnung gegen 1½ Fuß tiefer liegend zu erblicken, als das Gewebe, auf welchem sie war.

Beim Sehen ist stets die Absicht, deutlich zu sehen. Das deutliche Sehen hängt bei gesunden Augen von der Stärke der Beleuchtung, von der Entfernung des Gegenstandes und von der Dauer des Lichteindruckes ab. Wir wollen diese drei Umstände etwas näher untersuchen.

1) Lichtstärke. Damit ein Körper uns deutlich sichtbar sei, ist nothwendig, daß er für den jedesmaligen Zustand des Auges einen hinreichenden Grad der Lichtstärke habe, mag es nun eigenes oder zurückgeworfenes Licht sein, und daß diese in einem gewissen Grade die der umgebenden Körper übertreffe. Bei unbedecktem Himmel sehen wir in der Nacht selbst sehr kleine und lichtschwache Sterne, während wir sie bei Sonnenschein nicht zu erkennen vermögen, es sei denn, daß wir das

Sonnenlicht durch besondere Mittel von unserem Auge abhalten, wie wenn wir uns in einem tiefen und finsteren Schachte befinden oder durch ein langes und innerhalb geschwärztes Rohr sehen. Eine Flamme von Spiritus oder von Wasserstoffgas verschwindet bei hellem Tageslichte meist ganz für unser Auge, ist aber im Finstern sehr gut sichtbar. Je stärker der Kontrast zweier gleichzeitig auf unser Auge wirkenden Lichtquellen ist, desto weniger können wir das schwächere Licht wahrnehmen. Aber auch die Verschiedenheit der Farbe und der mit ihr verbundene Grad der Helligkeit erleichtert uns die Wahrnehmung verschiedener Gegenstände.

Durch den Kontrast der Lichtstärke werden Gegenstände nicht blos deutlich, sondern überhaupt sichtbar: die hellen Fixsterne mit ihrem so außerordentlich kleinen Durchmesser treten aus dem dunklen Weltraume, die Umrisse eines Gebirges aus dem hellen Himmel hervor; ein feines schwarzes Haar mit einem Gesichtswinkel von kaum 2 Sekunden wird vor einem hellen, ein feiner glänzender Silberdraht vor einem schwarzen Hintergrunde sichtbar.

Dazu kommt noch eine bewunderungswürdige Fähigkeit des Auges, sich für außerordentlich verschiedene Lichtstärken einzurichten. Nach vorgenommenen Messungen ist das Mondlicht 300000 mal schwächer, als das der Sonne und dennoch erkennt man Gegenstände nicht nur auch bei jenem, sondern bei noch viel schwächerem Lichte. Tritt man freilich aus dem Finstern in das grellste Tageslicht, so ist das Auge geblendet und erkennt ebensowenig die Gegenstände, wie wenn man aus dem Tageslichte in einen nur matt erleuchteten Raum kommt. In beiden Fällen aber darf man dem Auge nur die nöthige Zeit gönnen, damit es sich für den neuen Lichtreiz einrichtet. Bei starkem Lichte zieht die Pupille sich sehr zusammen, damit nur wenige Strahlen ins Auge gelangen; bei schwachem erweitert sich dieselbe, um viele Strahlen in das Innere zu lassen. Für den letzten Fall erkennt man auch in ziemlich dunklen Kellerräumen die Gegenstände nach und nach und es scheint heller zu werden, obwohl es thätsächlich nicht der Fall ist. Das Auge der Thiere, welche ein Nachtleben führen, hat eine große Pupille.

Es gibt endlich nicht blos wissenschaftlich, sondern auch optisch lichtscheue Menschen, welche das gewöhnliche Tageslicht schon so sehr blendet, daß sie meistens nur abends und bei sehr schwacher Beleuchtung deutlich sehen können. Es sind dies die Albinos und Kakerlaken. Jene sind weiß, diese braun mit weißen Flecken. Ihren rothen Augen fehlt das dunkle Pigment der Aderhaut.

2) Entfernung des Gegenstandes. Ist ein Gegenstand dem Auge allzunahe, so treffen die von ihm ausgehenden Strahlen so sehr divergent, daß das Auge nicht im Stande ist, sie durch seine Brechung schon auf die Netzhaut zu einem Bilde zu vereinigen, sondern sie treffen einander erst hinter der Netzhaut. Ist der Gegenstand allzuentfernt, so

kommen die Strahlen zu wenig divergent auf das Auge, vereinigen sich zu einem Bilde schon vor der Netzhaut und gehen dann wieder auseinander. In beiden Fällen entsteht auf der Netzhaut ein Zerstreuungskreis, welcher zwar die Empfindung von einem vorhandenen Gegenstande veranlaßt, ihn aber in seinen Theilen nicht genau erkennen läßt. Der oben angeführte Versuch mit den beiden kleinen einander ganz nahen Oeffnungen in einem Papierblatte zeigte uns schon, in welcher Entfernung ein Gegenstand dem Auge vorgehalten werden muß, damit die von ihm ausgehenden Strahlen nach der Brechung im Auge einander grade auf der Netzhaut schneiden; sie beträgt für gesunde Augen 9 bis 10 Zoll, wobei der Sehwinkel des gut beleuchteten Gegenstandes mindestens 30 Sekunden sein muß.

Da die rothen Strahlen die geringste, die blauen die größte Brechbarkeit besitzen, so ist nach ihrer Brechung durch das Auge ihr Sammelpunkt nicht derselbe, auch wenn sie dasselbe unter einerlei Winkel treffen: die blauen Strahlen treffen einander früher, als die rothen. Wenn man daher ein Gitter von weißen Linien auf schwarzem Grunde durch ein blaues Glas ansieht, es allmählig so weit entfernt, daß es durch das Zusammenlaufen der Linien als Fleck erscheint und dann statt des blauen Glases bei gleichbleibender Entfernung ein rothes Glas vorhält; so erscheint das Gitter wieder und verschwindet erst in größerer Entfernung. Die deutliche Sehweite für das rothe Licht ist also größer, als die für das blaue und wenn man das Mittel zwischen ihnen nimmt, so bekommt man die für das weiße Licht. Eine zur genaueren Bestimmung geeignete Vorrichtung heißt ein Optometer. — In der deutlichen Sehweite muß demnach eine röthliche Kerzenflamme durch ein violettes Glas ohne Saum, d. h.: die rothe Flamme muß so groß, als die violette erscheinen. — Sieht man durch zwei kleine einander nahe Oeffnungen auf einen gut beleuchteten schmalen Gegenstand (einen feinen Spalt), so erkennt man denselben für rothe Strahlen bei einer größeren Entfernung als einfach, als für blaue Strahlen.

Wenn auch jedes gesunde Auge für das deutliche Sehen eines Gegenstandes eine gewisse Entfernung als die ihm am meisten zusagende verlangt, so ist es doch fähig, sich einer etwas kleineren oder größeren Entfernung anzupassen oder zu akkomodiren, indem sich für die näheren Gegenstände die Krystalllinse vorn etwas mehr abrundet, für die entfernteren etwas abflacht, damit in jenem Falle die Brechung vermehrt, in diesem vermindert werde. Dabei bemerkt man, daß die Pupille während der scharfen Betrachtung eines nahen Gegenstandes sich zusammenzieht, bei der eines entfernten sich erweitert, damit jedenfalls die zur Erzeugung des deutlichen Bildes nöthige Menge von Strahlen in das Auge trete und namentlich die in der Nähe der Axe liegenden. — Ein deutliches Sehen entweder eines ganz nahen oder eines sehr entfernten Gegenstandes ist ohne Akkomodation des Auges nur dann möglich, wenn

man durch eine einzige ganz feine Oeffnung, welche man dem Auge nahe hält, sieht; denn dann können von jedem Gegenstande nur wenige und sich in den beiden Fällen auch wenig von einander entfernende Strahlen durch die Pupille dringen. Es ist natürlich, daß der entfernte Gegenstand wenig hell und der nahe vergrößert erscheint, weil der Sehwinkel ein großer ist. — Bei dieser Gelegenheit mag noch erwähnt werden, daß man ein Schattenbild bemerkt, wenn man zwischen das Auge und eine feine Oeffnung in einem Kartenblatte einen kleinen Gegenstand, z. B. einen Stecknadelkopf, bringt und jenseits eine Lichtquelle hat, wie etwa den heiteren Himmel oder eine Flamme. Man verlegt dieses Schattenbild jenseits der Oeffnung, sieht es in umgekehrter Stellung und entgegengesetzter Bewegung, wenn die Nadel bewegt wird.

Eigenthümlich ist es, daß das Anpassungsvermögen nicht für alle Richtungen gleich ist. Macht man auf eine schwarze Tafel ein Kreuz aus einer horizontalen und einer gleichstarken lothrechten Linie und entfernt man sich von der Tafel, so verschwindet den meisten Menschen die lothrechte Linie früher, als die horizontale, also ist das Anpassungsvermögen für lothrechte Gegenstände unvollkommener, als für vertikale.

Es gibt für jeden Menschen einen gewissen Nahepunkt und einen gewissen Fernpunkt, über welche hinaus jeder Gegenstand undeutlich wird und bleibt. Das Anpassungsvermögen hat also seine Gränzen. Die Weite des deutlichen Sehens liegt in ihrer Mitte. Liegen diese beiden Punkte dem Auge sehr nahe, also näher als die mittlere Sehweite, so ist das Auge kurzsichtig; liegen sie entfernt, so ist es weitsichtig. Wer das Anpassungsvermögen durch einseitigen Gebrauch vernachlässigt, dessen Auge fällt leicht in einen der beiden Fehler. Der Gemsenjäger wird leicht fernsichtig, der Kartenzeichner leicht kurzsichtig; jener kann also zu nahe, dieser zu entfernte Gegenstände nicht mehr erkennen; bei jenem sind die lichtbrechenden Theile des Auges zu flach, bei diesem zu erhaben gebildet; bei jenem entsteht von den zu nahe gehaltenen Gegenständen das Bild hinter der Netzhaut, bei diesem vor ihr; jener verlangt eine allzugroße Entfernung, dieser eine allzugroße Annäherung des Gegenstandes, wenn das Bild sich auf der Netzhaut selbst bilden soll. Dem Weitsichtigen ist der Fernpunkt zu weit, dem Kurzsichtigen zu nahe.

Diesen Fehlern des Auges begegnet man durch Brillen. Da das Auge des Weitsichtigen die Lichtstrahlen zu wenig bricht, so müssen ihm konvexe Brillengläser, also Sammelgläser, vorgehalten werden, damit in der Entfernung der deutlichen Sehweite das Bild grade auf die Netzhaut komme. Das Auge des Kurzsichtigen bricht zu stark, es bedarf also zur Erreichung desselben Zweckes eines konkaven oder eines zerstreuenden Glases. Einem durchsehenden Auge zeigen konvexe Gläser die Bilder in größerer und konkave in kleinerer Entfernung und so will sie ja beziehungsweise der Weit- und der Kurzsichtige haben.

Einem gesunden Auge sind Brillen nachtheilig, denn konvexe machen es weitsichtig, konkave aber kurzsichtig. Ebenso sind Lorgnetten und Nasenklemmer verwerflich, weil sie das Auge zu einer allzuhäufigen Anpassung zwingen und es auf diese Weise abschwächen. Dagegen sind gut gewählte, nicht zu scharfe Brillen geeignet, nicht nur in der angemessenen Entfernung deutlich zu sehen, sondern auch Verschlimmerungen, welche durch fortwährende Anstrengungen des Auges eintreten würden, vorzubeugen, ja unter Umständen zu heilen. Die Weitsichtigen schonen durch die Brille das Auge beim Nahesehen, die Kurzsichtigen beim Weitsehen.

Wenn man unter dem Gebrauche der Brille eine gedruckte Schrift von 1 Linie Buchstabenhöhe in einer Entfernung von 10 bis 12 Zoll anhaltend ohne Ermüdung des Auges und ohne daß sie kleiner oder größer erscheint, lesen kann, so dürfte im Allgemeinen die Brille passend sein. Dabei muß ihr Glas ganz rein sein, die krummen Flächen müssen ihre erhabensten und tiefsten Stellen genau in der Mitte der Gläser haben oder sie müssen, wie man sagt, gut zentrirt sein; das Gestell muß den Gläsern eine so feste Lage vor den Augen geben, daß die Mittelpunkte der Gläser vor der Mitte der Augen liegen. Ovale Gläser sind für das Sehen in die Ferne geeignet, weil man leicht unter und über ihnen hinweg sehen kann, wenn man einen ganz nahen Gegenstand ansehen will; für Weitsichtige aber sind runde Gläser geeignet. — Wenn Augen ein zu starkes Licht nicht vertragen können, so wendet man Schutzbrillen an, welche aus weißen oder blauen ebenen Gläsern bestehen. Sind konvexe oder konkave Gläser farbig, so sind die dünneren Stellen heller, als die dickeren, was für das Auge nicht gut ist. Man sucht diesem Uebelstande durch die isochromatischen Gläser, welche aus gefärbten und ungefärbten zusammengesetzt sind, zu begegnen.

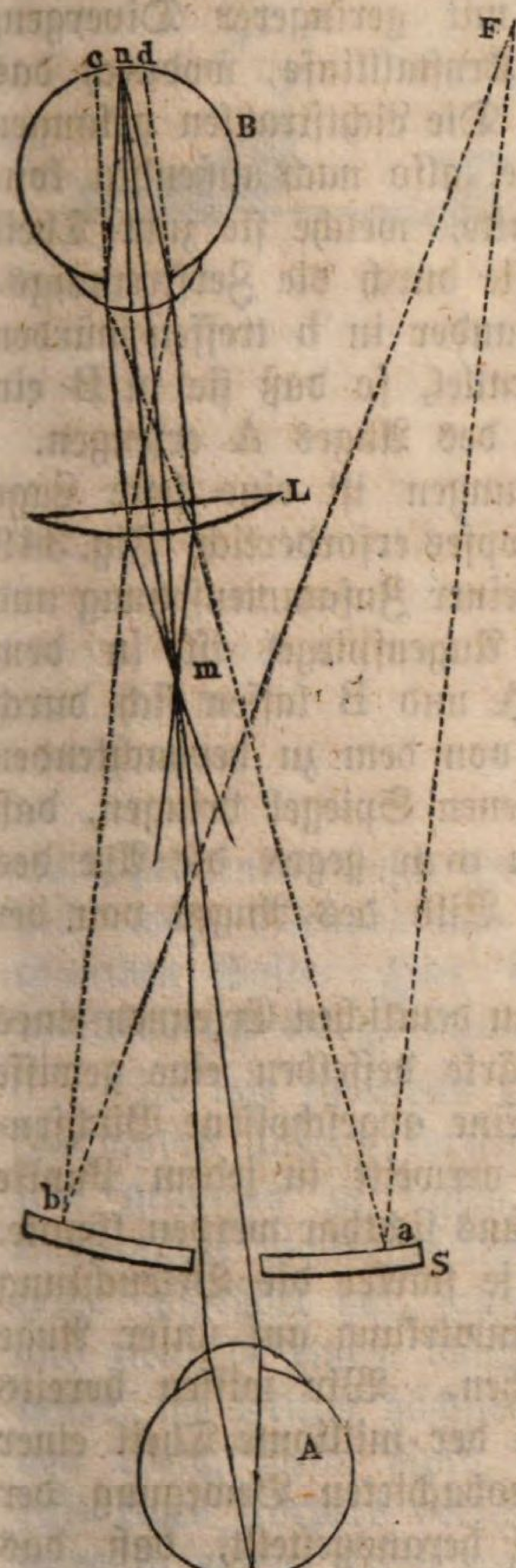
Da die Strahlenbrechung aus Wasser in das Auge schwächer ist, als aus der Luft; so muß man, um unter dem Wasser auch mit sonst gesunden Augen deutlich zu sehen, eine Konvexlinse von etwa ½ Zoll Brennweite anwenden. Die Krystalllinse im Auge der Fische ist daher fast kugelförmig.

Wenn die Kapsel der Krystalllinse oder sie selbst oder auch beide eine Trübung erfahren, welche theils von dem Gesundheitszustande des ganzen Körpers herrühren, theils aber auch eine Folge mangelhafter Ernährung desselben sein kann; so heißt diese Krankheit der graue Staar. Die Heilung besteht entweder in der Herausnahme, oder in der Verschiebung oder der Zerstörung der Linse. Der Genesene muß sich dann als Ersatz für die Krystalllinse einer Staarbrille, d. h. einer Brille mit stark konvexen Gläsern bedienen. Der schwarze Staar dagegen ist wohl unheilbar, weil er in einer völligen Unthätigkeit der Netzhaut besteht, welche entweder ein organischer Fehler ist, oder durch verschiedene Umstände herbeigeführt werden kann. Häufig geht

Erblindung die Erscheinung der sogen. fliegenden Mücken (mouches volantes) voran, welche aber auch sonst vorkommt.

Da es noch viele andere Krankheiten des Auges gibt, so hat man sich bemüht, Mittel aufzufinden, um in das Innere desselben zu sehen. So wie es einen Ohrenspiegel gibt, welcher gestattet, bis an das Trommelfell zu sehen, so hat man auch einen Augenspiegel erfunden, welcher aber zusammengesetzter ist.

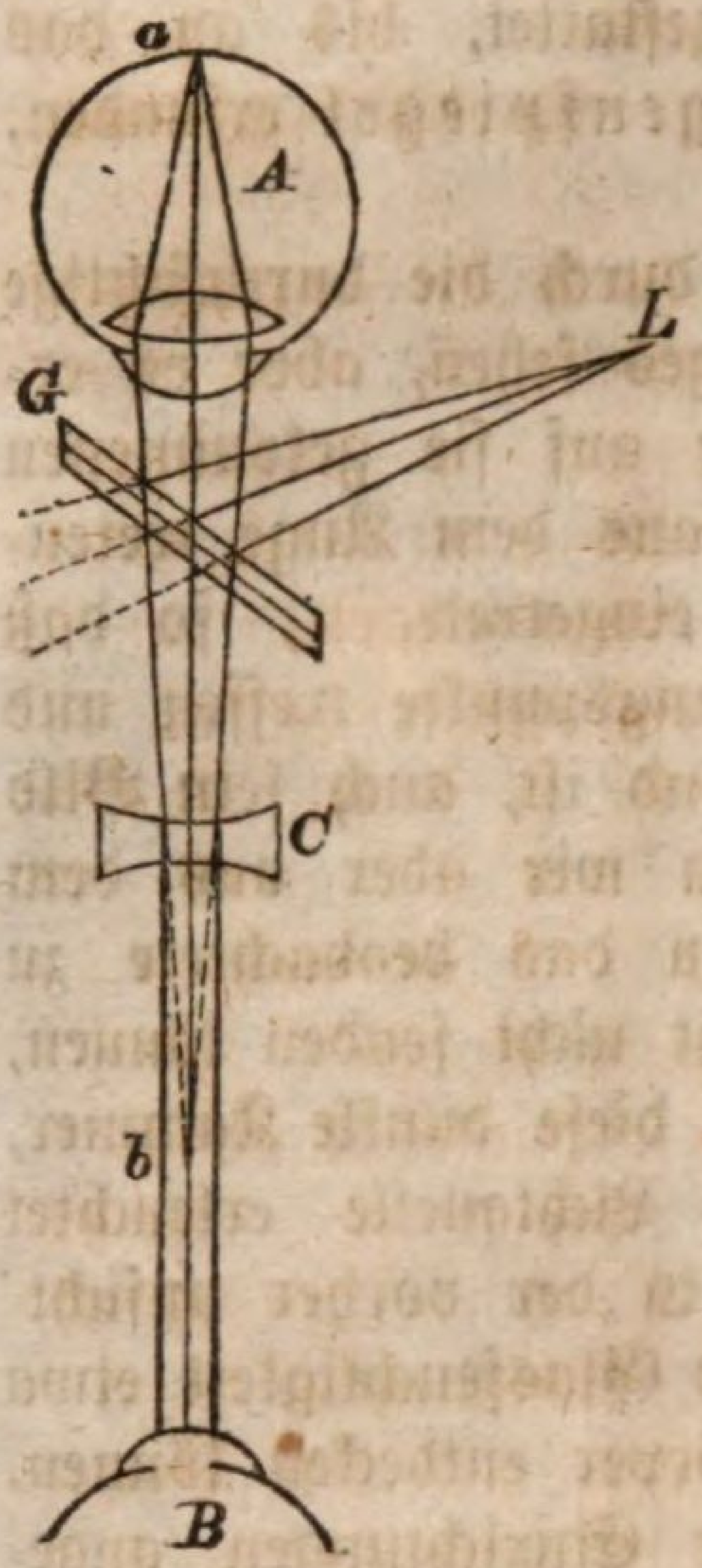
Wir können wohl auch ohne alle Hilfsmittel durch die durchsichtige Hornhaut und die Pupille in das Innere des Auges sehen, aber es erscheint uns schwarz, theils weil die Aderhaut die auf sie gekommenen Strahlen größtentheils vernichtet, theils weil die aus dem Auge tretenden Strahlen denselben Weg verfolgen, wie die eingetretenen, so daß sie einander im Ausgangspunkte treffen und dort, wo der Gegenstand ist, auch sein Bild erzeugen würden. Da wir aber aus dem beobachtenden Auge in das beobachtete zu dessen Erleuchtung Licht nicht senden können, so muß sein Inneres, diese dunkle Kammer, durch eine besondere Lichtquelle erleuchtet werden, wodurch wir in der vorher unsichtbaren Krystalllinse und Glasfeuchtigkeit etwa vorhandene fremde Körper entdecken können. Man hat verschiedene Einrichtungen angewendet.



(Fig. 347.)

In Fig. 347 ist in F eine Lichtflamme, die Strahlen, wie Fa und Fb, gelangen auf einen Hohlspiegel S, welcher sie konvergent macht; durch eine plankonvexe Linse L werden sie noch konvergenter, so daß sie einander jenseits derselben schneiden und wenn nun das zu beobachtende Auge B so gestellt wird, daß die auf dasselbe divergent auffallenden Strahlen in ihm parallel werden; so wird sein Inneres stark erleuchtet. Wenn nun selbstständig Lichtstrahlen von jedem Punkte, wie von n, divergirend ausgehen, so bricht sie das Auge selbst schon, daß sie parallel werden können, die Linse L wird sie dann in ihrem Brennpunkte m zwar sammeln und dort ein Bild erzeugen, dieses aber kann man, ohne die vom Spiegel ankommenden Beleuchtungsstrahlen abzuhalten, nicht beobachten, sondern muß sie weiterfort und durch die Oeffnung

des Spiegels gehen lassen, um sie diesseits desselben mit dem beobachtenden Auge, auf welches sie divergirend ankommen, aufzufangen und so in o zu sehen, was in der Richtung nach n im Auge ist. Was von dem Punkte n gilt auch von anderen Punkten.

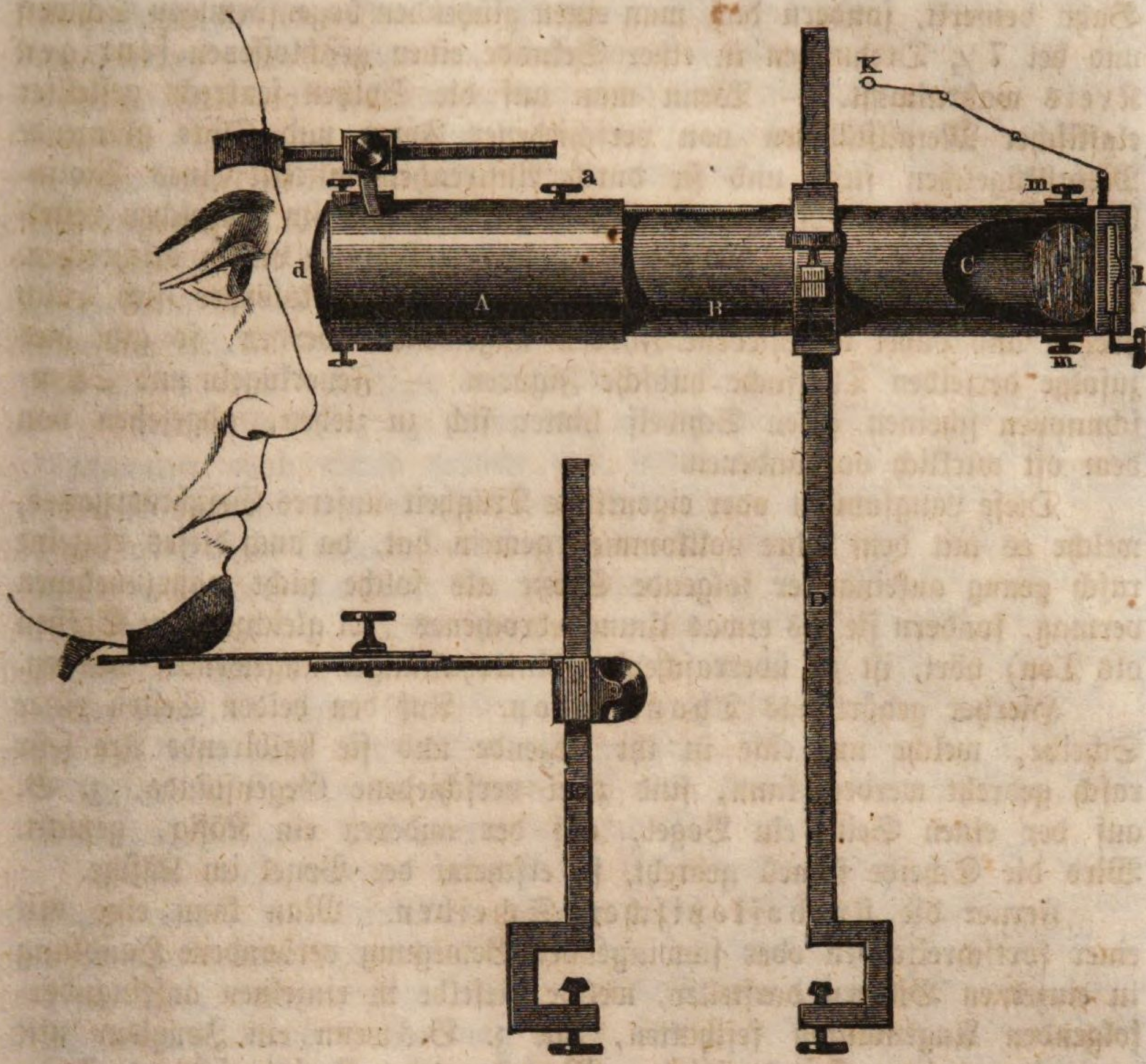


(Fig. 348.)

Fig. 348 stellt eine veränderte Einrichtung dar, bei welcher L ein Licht, G eine gut geschliffene Glasplatte, C eine bikonkave Linse, A das zu beobachtende Auge und B das des Beobachters ist. Die von L auf die Glasplatte divergirend ankommenden Strahlen gehen theils mit derselben Divergenz jenseits fort, wie die punktirten Linien andeuten, theils werden sie zurückgeworfen und gelangen in das Auge mit geringerer Divergenz namentlich jenseits der Krystalllinse, wodurch das Innere erleuchtet wird. Die Lichtstrahlen gelangen nun auf demselben Wege, also nach außenhin konvergent, zurück zur Platte, welche sie zum Theil durchläßt; dann gehen sie durch die Zerstreuungslinse früher, als sie einander in b treffen würden und werden dadurch parallel, so daß sie in B ein Bild von dem Inneren des Auges A erzeugen.

Zu diesen Beobachtungen ist eine feste Lage des Auges und ganzen Kopfes erforderlich. Fig. 349 zeigt einen Apparat in seiner Zusammensetzung und zur Beobachtung geeignet. Der eigentliche Augenspiegel ist in dem Rohre dl eingeschlossen; seine beiden Theile A und B lassen sich durch die Stellschraube a in eine solche Entfernung von dem zu beobachtenden Auge und dem in der Durchbrechung vorhandenen Spiegel bringen, daß in dem letzteren, welcher durch die Schrauben mm gegen die Axe des Rohres angemessen gestellt werden kann, das Bild des Auges von der Seite her sichtbar ist.

3) Dauer des Lichteindruckes. Zum deutlichen Erkennen eines Gegenstandes gehört bei einer gewissen Lichtstärke desselben eine gewisse Dauer des Lichteindruckes auf unser Auge. Eine abgeschossene Büchsenkugel sendet wenig Licht von sich aus und verweilt in jedem Punkte ihrer Bahn eine allzukurze Zeit, als daß sie uns sichtbar werden könnte. Je mehr aber ein Körper selbst leuchtet oder je stärker die Beleuchtung desselben ist, desto kürzere Zeit braucht die Einwirkung auf unser Auge zu sein, um einen bewußten Eindruck zu machen. Wir wissen bereits (Bd. II., S. 35), daß beim elektrischen Funken der millionte Theil einer Sekunde vollkommen ausreicht. Aus der beobachteten Bewegung der Fixsterne und der Sternenbedeckung hat sich herausgestellt, daß das Auge verschiedener Astronomen einer bis zu 1/4 Sekunde schwankenden Zeit bedarf, um sich eines Lichteindruckes bewußt zu werden. — Wird



(Fig. 349.)

ein Speichenrad rasch genug gedreht, so kann man die einzelnen Speichen nicht mehr erkennen und ebensowenig die einzelnen Schwingungen einer tönenden Saite. Hier ist bei einer nicht allzuraschen Bewegung der Lichteindruck ein zu schwacher.

So wie einerseits das Auge einer bestimmten, wenn auch unter Umständen äußerst kurzen Zeit bedarf, um einen Eindruck zum Bewußtsein gelangen zu lassen, so verliert es auch andererseits die einmal empfangene Lichtempfindung nicht sofort, wenn auch die wirkende Ursache aufgehört hat, sondern behält sie eine, wenn auch kurze Zeit fest, und zwar in einem dunklen Raume etwa $1/3$, in einem hellen $1/6$ Sekunde, im Mittel höchstens etwa 0,34 Sekunden in abnehmender Folge von Weiß, Gelb, Roth, Blau. — Daraus ist erklärlich, daß die Umrisse eines Körpers verschwinden, wenn er in 1 Sekunde bei der Drehung in einem Kreise einen Bogen von etwa 200°, daß er bei mehr als 365° Drehung selbst verschwindet und daß man eine im Kreise rasch genug gedrehte glühende Kohle nicht in den einzelnen Punkten ihrer

Bahn bemerkt, sondern daß man einen glühenden bogenförmigen Schweif und bei 7½ Drehungen in einer Sekunde einen geschlossenen feurigen Kreis wahrnimmt. — Wenn man auf die Spitzen senkrecht gestellter elastischer Metallstäbchen von verschiedener Form und Dicke glänzende Metallkügelchen steckt und sie durch Anstreichen mittelst eines Violinbogens zum Tönen bringt; so sieht man von dem im Kügelchen reflektirten Lichtpunkte hübsche verschieden geformte krumme Linien beschreiben. Dies ist das Kaleidophon. — Wenn Feuerwerkskörper sich rasch drehen und dabei verschiedene Farben angewendet werden, so gibt dies zufolge derselben Thatsache hübsche Figuren. — Feuerkugeln und Sternschnuppen scheinen einen Schweif hinter sich zu ziehen, abgesehen von dem oft wirklich vorhandenen.

Diese Langsamkeit oder eigentliche Trägheit unseres Gesichtsorganes, welche es mit dem Ohre vollkommen gemein hat, da auch dieses einzelne rasch genug aufeinander folgende Stöße als solche nicht wahrzunehmen vermag, sondern sie als etwas Ununterbrochenes (bei gleichzeitigen Stößen als Ton) hört, ist zu überraschenden Unterhaltungen angewendet worden.

Hierher gehört das Thaumatrop. Auf den beiden Seiten einer Scheibe, welche um eine in ihr liegende und sie halbirende Axe sehr rasch gedreht werden kann, sind zwei verschiedene Gegenstände, z. B. auf der einen Seite ein Vogel, auf der anderen ein Käfig, gemalt. Wird die Scheibe schnell gedreht, so erscheint der Vogel im Käfige.

Ferner die stroboskopischen Scheiben. Man kann eine mit einer fortschreitenden oder schwingenden Bewegung verbundene Handlung in einzelnen Bildern darstellen, welche dieselbe in einzelnen aufeinanderfolgenden Augenblicken festhalten, wie z. B. wenn ein Jongleur mit zwei oder mehren Kugeln spielt. Man kann den Kreislauf eines Spieles in etwa 10 aufeinanderfolgende Abschnitte, in denen der Spieler und seine Hand, sowie die Kugeln eine verschiedene Lage haben, dargestellt zerlegen. Wenn nun diese Darstellungen von einem Auge hinreichend rasch hintereinander gesehen werden, so verbindet es dieselben in einer überraschend täuschenden Weise zu der vollständigen Handlung. Auf eine ähnliche Weise kann man darstellen, wie ein Turner das Bockspringen u. s. w. übt.

Die Vorrichtung zur Hervorbringung dieser Erscheinungen ist ganz einfach. Eine Scheibe von steifem Pappdeckel und etwa 10 Zoll Durchmesser ist drehbar um eine durch ihre Mitte senkrecht gehende Axe und ihr parallel ist ein Spiegel. Auf der dem Spiegel zugewendeten Seite der Scheibe sind am Umfange in gleichen Abständen die Bilder und der Rand hat Ausschnitte oder Oeffnungen in ebenfalls gleichen Entfernungen, um durch sie die gedrehten Spiegelbilder anzusehen.

Hat die Scheibe 10 Oeffnungen und sieht man durch eine derselben, so erblickt man ihr Spiegelbild grade gegenüber; da aber auch bei der Drehung der Scheibe dieses stets der Fall ist, so scheinen alle

10 Oeffnungen ungeachtet der Drehung still zu stehen. Sind nun auf der anderen Seite unter den Oeffnungen z. B. 11 Räder gleich vertheilt gezeichnet, so daß, wenn das erste Rad unter der ersten Oeffnung ist, das zweite um $1/_{11}$, das dritte um $2/_{11}$ u. s. w., das eilfte um $11/_{11}$ des Umfanges gegen die Oeffnungen voransteht, wenn man nach rechts und zurücksteht, wenn man nach links dreht; so ist in Wirklichkeit nach einer Umdrehung das erste Bild grade wieder unter der ersten Oeffnung, aber wegen der Dauer des Lichteindruckes hält man jedes grade gegenüberstehende für das vorige. Nun ist bei der Drehung nach rechts das zweite Rad um $1/_{11}$, das dritte um $2/_{11}$ u. s. w., das eilfte um $10/_{11}$, das erste um $11/_{11}$ oder den ganzen Zwischenraum zwischen zwei Oeffnungen nach rechts gerückt und somit scheint es, als habe nach 10 Umdrehungen der Scheibe das erste Rad in fortschreitender Bewegung den ganzen Umfang durchlaufen. — Es läßt sich aber außerdem dem Rade noch eine scheinbare Drehung um seine Axe ertheilen, wenn man seine Speichen so zeichnet, daß die eines jeden folgenden Rades um einen gewissen Antheil seines Umfanges gegen die des vorangehenden zurückstehen. — Sind bei 10 Randöffnungen nur 9 Räder gezeichnet, so ist die Bewegung der Räder rückgängig; wären für 10 Oeffnungen 5 Räder, so ständen die ersteren still und müßten lichtschwächer erscheinen, weil zu zwei Oeffnungen nur ein Rad gehört.

Eine nicht weniger interessante Erscheinung bietet das Anorthoskop dar. Auf derselben Drehungsaxe befinden sich zwei parallele Scheiben, welche sich mit gleicher oder verschiedener Geschwindigkeit entgegengesetzt drehen lassen; die eine Scheibe hat in gleichen Entfernungen Ausschnitte, durch welche man sehen kann, und auf der anderen sind verzerrte Zeichnungen. Hat die erste Scheibe 4 Ausschnitte, wird die zweite 4mal schneller entgegengesetzt gedreht und ist die verzerrte Zeichnung so gemacht, daß je zwei Punkte in derselben Kreislinie 5mal weiter von einander abstehen, als in dem richtigen Bilde; so zeigt sich das richtige Bild stillstehend 5mal, indem jeder Punkt der bemalten Scheibe 5mal schneller geht, als der entsprechende der vorderen Scheibe. — Die zweite Scheibe kann transparent sein und muß dann durch ein dahinter gestelltes Licht erleuchtet werden.

Aehnliche Erscheinungen zeigen sich an gedrehten Speichenrädern. Wird ein Rad mit graden Speichen vor einem Gitter mit graden Stäben gedreht, so erscheinen die Speichen gekrümmt. — Dreht man zwei Räder mit gleicher Speichenzahl um dieselbe Axe gleich schnell, aber entgegengesetzt, so erscheint ein feststehendes Rad mit so vielen Speichen, als die beiden Räder zusammen besitzen. — Durch Abänderung der Speichenzahl und Geschwindigkeit läßt die Erscheinung sich sehr abändern.

Sieht man durch eine gedrehte Scheibe mit Einschnitten auf einen an einem Faden im Kreise geschwungenen Körper, so scheint derselbe zu ruhen, so

daß man seine Gestalt wahrnehmen kann. Auf diese Weise ist es möglich, eine abgeschossene Kanonenkugel fliegen zu sehen.

Werden von einem dunklen Hintergrunde zwei helle krumme Linien in parallelen Ebenen nach derselben Richtung so gedreht, daß die Geschwindigkeit der einen ein genaues Vielfache von der der anderen ist; so entsteht das ruhende Bild einer ruhenden dritten krummen Linie, welche dunkler erscheint, als der Grund.

Eine recht angenehme Ueberraschung gewähren die Erscheinungen, wenn zwei kreisförmige Glasscheiben, auf denen durchscheinende buntfarbige krumme Linien gemalt sind, in parallelen Ebenen entgegengesetzt gedreht werden und man bringt die Bilder zum Decken. Es zeigen sich dann neben den Gestaltveränderungen die herrlichsten Farbenwandelungen, weshalb eine dazu geeignete Vorrichtung, als welche der früher erwähnte Nebelbilderapparat sich vorzüglich eignet, ein Chromatrop heißt.

Darstellung des Weiß. Wenn man die sieben Regenbogenfarben durch eine Konvexlinse in ihrem Brennpunkte vereint beobachtet, so hat man ein weißes Bild. Ob man nun diese Vereinigung außerhalb des Auges oder in ihm zufolge der Andauer des Lichteindruckes vornimmt, ist für den Erfolg gleichgiltig. Das bunte Farbenspektrum erscheint uns also weiß, wenn es hinreichend rasch innerhalb enger Gränzen so in Schwingung versetzt wird, daß die Stelle einer Farbe schnell hintereinander durch die übrigen eingenommen wird. — Der Versuch kann auch durch einen Kreisel gemacht werden, auf dessen Ebene die sieben Regenbogenfarben möglichst treu und in verhältnißmäßiger Lichtstärke aufgemalt sind, indem man den Kreisel in rasche Drehung versetzt. Seine Oberfläche zeigt dann sich annähernd weiß gefärbt. — Reines Weiß entsteht deshalb nicht, weil es nie gelingt, die 7 Naturfarben ganz treu und in der richtigen Lichtstärke nachzuahmen.

Wenn es auch scheint, als ob der Blitz eines Gewitters aus ununterbrochenen Linien bestände, so läßt sich doch durch den gedrehten Farbenkreisel nachweisen, daß er aus einer Menge von einzelnen getrennten Funken, welche eine Folge einer großen Menge schnell aufeinander folgender Entladungen sind, zusammengesetzt ist.

Kommen aus einer kleinen Oeffnung sehr rasch hintereinander einzelne Tropfen, so scheint es bei ihrem Fallen, daß ein ununterbrochener Strahl herabfällt. Ob das eine oder das andere stattfindet, läßt sich nach dem Obigen ermitteln.

Der absichtlich hervorgebrachte Schwindel beruht ebenfalls auf der Trägheit unseres Auges oder auf der Unfähigkeit, Eindrücke sofort zum Bewußtsein zu bringen und die empfangenen sofort zu verlieren, wenn die wirkende Ursache aufgehört hat.

Wenn wir etwa eine Minute lang mit ruhigem Auge einen ruhenden Punkt über einer gleichmäßig in einerlei Richtung bewegten Fläche,

auf welcher sich verschiedene Objekte bemerklich machen, scharf ansehen und dann auf einen bestimmten Punkt einer ruhenden Fläche sehen, worauf auch einzelne Punkte bemerkbar sind; so scheint diese in entgegengesetzter Richtung sich zu bewegen. Für den Erfolg ist es aber einerlei, ob sich das Bild im Auge oder dieses selbst bewegt und dies gibt dann, wenn wir uns rasch um uns selbst oder im Tanze drehen, sogar bei geschlossenen Augen, die Erscheinung des Schwindels. Hören wir auch auf uns zu drehen, so scheinen doch die äußeren Gegenstände sich noch entgegengesetzt zu drehen. Unser Auge ist während der eigenen schnellen Drehung nicht fähig, sich von den ihm sichtbaren Gegenständen eine klare Vorstellung zu machen, so daß Alles undeutlich verschwimmt und sich verwirrt, was einen widrigen Eindruck auf die Nerven macht, welcher sogar Uebelbefinden erzeugen kann.

Eine weitere Folge der Beschaffenheit unseres Gesichtsorganes sind die Blendungsbilder. Hat man ein Lampen- oder Kerzenlicht anhaltend und starr angesehen, so bleibt die Flamme für unsere Wahrnehmung noch einige Zeit, wenn auch das Licht ausgelöscht und es ringsum finster ist oder die Augen geschlossen werden, aber nicht blos an der früheren Stelle, sondern nach allen Richtungen, nach welchen wir den Kopf wenden. Haben wir die Sonne angesehen, was öfters zu thun allerdings nicht anzurathen ist, so ist die Wirkung auffallender. Die Nerventhätigkeit währet noch fort, wie eine angeschlagene Saite nachklingt, wenn auch die wirkende Ursache schon aufgehört hat. — Hat man ein gut beleuchtetes Fenster mit seinem Kreuze einige Zeit starr angesehen, schließt dann das Auge schnell und wendet es auf eine schwarze Wand, so sieht man auf dieser ein helles Nachbild des Fensters mit dunklem Kreuze. Ist aber die Wand nur eine schwächer erleuchtete, so sieht man ein dunkles Fenster mit hellen Sprossen, weil die Stellen der Netzhaut, die das dunkle Kreuz zeigten, weniger von dem Lichte gereizt waren, also für ein schwächeres Licht noch hinreichende Empfänglichkeit haben. Außer diesen Blendungsbildern sind noch die farbigen Nachbilder bemerkenswerth, welche wir aber erst in der Farbenharmonie erwähnen können.

Die Irradiation. Der Lichtreiz beschränkt sich nicht blos auf die unmittelbar getroffenen Stellen der Netzhaut, sondern geht noch ein wenig darüber hinaus, besonders bei starkem Lichte und längerer Dauer der Einwirkung. Deshalb erscheint ein weißer Strich auf schwarzem Grunde breiter, als er wirklich ist und als ein gleich starker schwarzer auf hellem Grunde. Deshalb ist es auch nicht möglich, einen schwarzen und einen weißen (überhaupt einen dunklen und einen hellen) Gegenstand in ihrer richtigen Größe zugleich zu sehen. Auch hier muß das Auge sich erst einrichten: die Pupille erweitert sich beim dunklen, verengt sich beim hellen Gegenstande. — Obwohl der Durchmesser der Fixsterne weit kleiner ist, als 1 Sekunde, so sind sie uns doch leichter

bemerkbar, als manche Planeten, deren scheinbarer Durchmesser größer ist. — Daraus ist auch die Erscheinung erklärlich, daß kurz vor und nach dem Neumonde der schmale erleuchtete sichelförmige Theil zu einer größeren Kugel zu gehören scheint, als der Theil uns erwarten läßt, welcher durch die von der Erde zurückgeworfenen Strahlen matt erleuchtet wird. — Mit abnehmender Lichtstärke vermindert sich die Irration. Da nun die Fernröhre uns die Gegenstände um so lichtschwächer zeigen, je stärker sie vergrößern, so folgt daraus die für den ersten Augenblick auffällige Thatsache, daß der scheinbare Durchmesser der Fixsterne um so kleiner erscheint, je stärker das Fernrohr vergrößert.

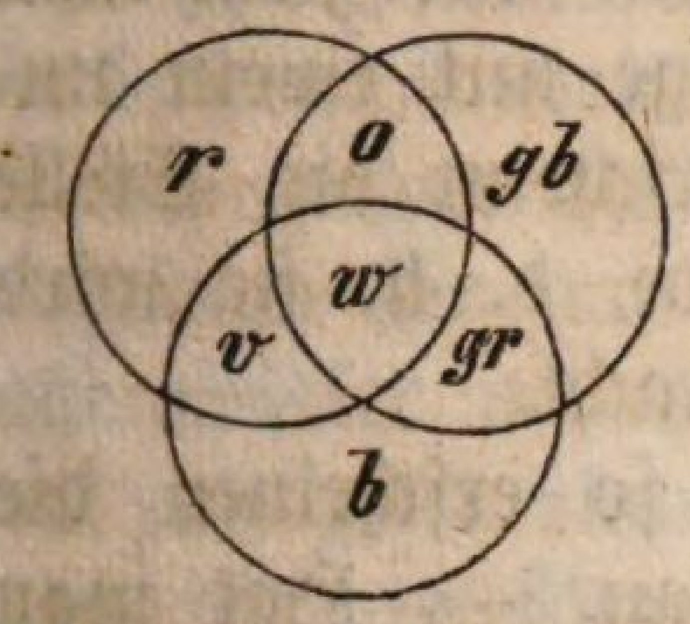
Farbensinn. Wie beim Sehen des Lichtes überhaupt, so sind bei der Wahrnehmung der Farben drei Vorgänge bemerkenswerth: die Schwingungen des Aethers, die dadurch angeregten Veränderungen in den Nerven unseres Auges und die durch letztere in unserem Bewußtsein eingetretene Veränderung. Beim Anblicke verschiedener Farben werden wir uns aber niemals der Thatsache bewußt, daß sie durch Wellen verschiedener Dimensionen bei verschiedenen Schwingungszahlen hervorgebracht sind. Eine Farbe läßt sich daher auch nicht beschreiben, sondern man muß sie sehen. Der Blinde kann keine Vorstellung von den Farben haben. Ich erinnere mich, daß ein Blinder die rothe Farbe mit dem schmetternden Tone einer Trompete verglich; aber die Anhaltspunkte für eine wissenschaftliche Vergleichung der musikalischen Töne mit den Farbentönen sind zu lose, als daß dadurch etwas gewonnen würde.

So wie das Gehör verschiedener Menschen eine verschiedene Empfänglichkeit besitzt für die Unterscheidung verschiedener Töne, ebenso und meist in einem höheren Grade ist es bei den Farben. Indeß sind Musikalischtaube, d. h. solche, welchen die Unterscheidung der Tonhöhen mangelt, wohl seltener, als Farbenblinde, d. h. solche, welche die verschiedenen Farben nicht unterscheiden können. Manche nehmen an den Farben nur die verschiedenen Grade der Helligkeit wahr, nicht die Farben selbst; Andere sehen z. B. im Regenbogen oder im Spektrum einer Flamme nur Gelb und Blau. Das lichtstarke Gelb wird am besten erkannt, die anderen Farben bilden zu ihm einen gemeinschaftlichen Gegensatz, namentlich das lichtschwache Roth.

Höchst auffallend ist, daß manche Farben, wie Blau und Roth oder Grün und Blau von Einzelnen als gleich angesehen werden. Es müssen also diese Farben ungeachtet ihrer Verschiedenheit doch etwas Uebereinstimmendes haben, so daß das Auge nicht jene, sondern nur dieses wahrnimmt. Wie es bei den Tönen solche gab, welche, wenn sie gleichzeitig hervorgebracht wurden, dem Ohre nicht nur eine angenehme Befriedigung gewährten, sondern selbst einen neuen dritten wieder mit ihnen übereinstimmenden Ton erzeugten, ebenso gibt es harmonische und zusammengesetzte Farben. So wie ein Ton einen zweiten zu einem Kombinationstone ergänzte, so ergänzen auch Farben einander

zu einer neuen Farbe. Um die Farbenerscheinungen in Betreff der Thätigkeit des Auges richtig beurtheilen zu können, müssen wir darüber Einiges anführen.

Mischfarben. Wir wissen bereits, daß die sämmtlichen Farben des Sonnenspektrums bei ihrer Vereinigung, sie mag nun in objektiver oder in subjektiver Weise (Band II., S. 198) geschehen, Weiß geben. Vereinigt man zwei Farben des Spektrums, zwischen denen nur eine fehlt, so entsteht diese ausgelassene Zwischenfarbe: Roth und Gelb geben Orange, Gelb und Blau geben Grün, Indigo und Roth geben Violett. Grün mit Roth gibt Blau, mit Violett aber Gelb. Zur bildlichen Darstellung der Farbenverbindung ist Fig. 350 geeignet, wobei die einander deckenden Theile der drei Kreise, welche die Farben Roth, Gelb, Blau tragen, mit den Anfangsbuchstaben der Mischfarben bezeichnet sind. Die drei Farben Roth, Gelb, Blau sind als die **Grundfarben** des Spektrums anzusehen, weil sie in ihrer Verbindung annähernd ebenfalls Weiß geben.



(Fig. 350.)

Ergänzungsfarben. Wenn zwei Farben eine Mischfarbe geben, so heißt die eine von ihnen die Ergänzungsfarbe der anderen zu dieser dritten. Wir können aber auch aus dem Farbenspektrum die eine Farbe auslassen und alle übrigen zu einer Mischfarbe verbinden und dann ist die ausgelassene Farbe die Ergänzungsfarbe zu der erhaltenen Mischfarbe. Läßt man z. B. Roth aus, so gibt der übrige Theil des Spektrums einen bläulichen Farbenton; daher geben Roth und Blau auch Weiß und jede ist die Ergänzungsfarbe der anderen zu Weiß. So ergänzen einander Grün und ein ins Rothe gehendes Violett, Orange und Blau, Violett und Gelb.

Auf das Auge wirken Ergänzungsfarben in ähnlicher Weise angenehm, wie harmonische Töne, welche gleichzeitig oder hintereinander hervorgebracht werden. Daher spricht man auch von einer **Farbenharmonie.** Disharmonische und grelle Farben beleidigen das feinempfindende Auge ebensosehr, wie disharmonische und scharfe Töne das Ohr. Es wird also z. B. ein rothes Tuch auf einem grünen Kleide, goldorangefarbene Frannigen an einer blauen Drapperie ganz angenehm sein.

Die angenehme Wirkung liegt in beiden Fällen darin, daß die Schwingungen nicht einander verworren durchkreuzen, sondern häufig miteinander in gleichen Richtungen laufen. Weil die Schwingungen der Ergänzungsfarben in so vielen Punkten übereinstimmen, ist der Farbenblinde nicht im Stande, die Ergänzungsfarben von einander zu unterscheiden: Blau und Roth sind ihm dieselbe Farbe.

Interessant sind noch die Erscheinungen, welche mit gesunden Augen wahrgenommen werden, wenn man eine lebhafte Farbe anhaltend ange-

sehen hat und dann das Auge entweder auf eine weiße Fläche oder auf eine andere Farbe wendet; es erscheinen dann farbige Nachbilder oder Kontrastbilder.

Farbige Nachbilder. Da das Auge beim Anblicke einer bestimmten Farbe zu gleichartigen Schwingungen angeregt wird, so muß es, wenn ihm die objektiv dargebotene Farbe nach längerem Anblicke entzogen und nur noch weiß vorgehalten wird, ehe es in die Ruhelage zurückkommt, die zu Weiß ergänzenden Schwingungen subjektiv empfinden oder es ist für die erste Farbe abgestumpft und erkennt aus dem Weiß nur noch die Ergänzungsfarbe. Hat man ein lebhaft rothes Band auf weißem, gut beleuchtetem Papiere anhaltend angesehen und zieht man dann das Band schnell fort oder bedeckt man das Auge mit einem undurchsichtigen Gegenstande oder schließt dasselbe, so erscheint die Stelle grün. Die Erscheinung ist also offenbar eine subjektive, d. h. sie wird nicht außerhalb des Auges, sondern in ihm hervorgebracht.

Nimmt man eine grüne Brille von den Augen, so erscheinen die Gegenstände roth, Gelb gibt Violett, Orange gibt Blau. — Hat man ein rothes Bild auf gelbem Grunde starr betrachtet und sieht dann auf eine weiße Fläche, so erscheint ein grünes Bild auf blauem Grunde.

Kontrastfarben. Man kann die Versuche auch dahin abändern, daß man Weiß auf einem farbigen Grunde ansieht und dann das Weiß dem Auge entzieht. Weil dann kontrastirende subjektive Farben entstehen, nennt man die zum Vorschein kommende die Kontrastfarbe. Weiß auf rothem Grund erscheint also grün, Grün erscheint roth, Blau wird Orange und Orange wird bläulich. — Ein weißer Streifen Papier auf buntem Glase mit weißer Belegung auf der Rückseite zeigt die ergänzende Kontrastfarbe sehr schön.

Wenn man durch das Diploskop, d. h. mit jedem Auge durch eine besondere Röhre auf zwei verschiedene Farben, welche halbkreisförmig auf eine drehbare Scheibe gemalt sind, bis zur Abstumpfung der Augen sieht, und es ist dem einen Auge Roth, dem anderen Grün dargeboten worden; so verwechseln die Augen bei der Drehung die beiden Farben. Bemerkenswerth ist hierbei noch, daß man die Anzahl der Drehungen in einer gewissen Zeit ermitteln kann, wenn man beide Augen zugleich auf die gedrehte Scheibe richtet und vor sie parallel einen dunklen Stab hält, welcher den Augen abwechselnd die eine und die andere Farbe zeitweise entzieht, wodurch die andere um so lebhafter hervortritt. Auf diese Weise zeigen sich Speichen, welche bei vergrößerter Drehungsgeschwindigkeit mehr und mehr auseinander treten und zählbar werden.

Es gibt bei jeder einzelnen Farbe verschiedene Grade der Helligkeit, d. h. jede einzelne bestimmte Farbe kann auf unser Auge einen verschieden kräftigen Eindruck machen, wie ein bestimmter Ton auf unser Gehör. Wie hier die vermehrte Weite der Schwingungen die Stärke des Tones vermehrt, so dort den Grad der Helligkeit der betreffenden

Farbe. Die Gesammtwirkung einer Farbe hängt also gewiß von ihrem durch die Schwingungszahl bestimmten Tone und von der durch die Schwingungsweite hervorgebrachten Helligkeit ab. Wenn nun auch im Spektrum die Schwingungszahl von Roth nach dem Violett wächst, so doch nicht die Helligkeit. Will man die absolute Helligkeit verschiedenfarbiger Körper untersuchen, so müssen sie derselben abnehmenden Beleuchtung ausgesetzt sein. Betrachtet man z. B. die auf schwarzem Grunde mit weißen Linien ausgeführte Projektion eines Körpers durch das Stereoskop, während man vor das eine Auge ein blaues, vor das andere ein rothes Glas hält; so erscheint das Relief in der Mischfarbe, wenn jene Farben einfache waren und alle Kanten zeigen parallele Linien mit beiden Farben. Bei abnehmender Tageshelle verschwinden allmählich die rothen Linien und dann auch das Relief, während die blaue Projektion für das betreffende Auge noch bleibt. Wenn man jetzt zwei rothe Gläser vor die beiden Augen bringt, so sieht man nichts mehr, aber mit zwei blauen tritt das Relief wieder hervor. Obwohl Roth heller ist, als Blau, so zeigt es doch weniger Kraft.

Unser Auge legt aber bei der Beurtheilung der Helligkeit nicht einen absoluten, sondern nur einen relativen Maßstab an. Jenachdem man in einen mäßig erleuchteten Raum aus dem Hellen oder dem Finstern kommt, wird man ihn dunkel oder hell finden (vergl. Bd. II., S. 107). Einen grauen Streifen auf weißem Grunde hält man für dunkler, und auf schwarzem für heller, als er wirklich ist und ein weißer Streifen erscheint neben einer grauen Fläche heller, als ohne sie. — Durch den Kontrast der Helligkeit können sogar die Ergänzungsfarben erscheinen, z. B. ein grauer Streifen Papier erscheint auf einer blauen Unterlage gelb, auf einer hellgrünen aber röthlich. Solche Betrachtungen sind bei der Erzielung der Farbenharmonie im praktischen Leben ebenfalls zu berücksichtigen.

Farbige Schatten. Nur dann, wenn ein dunkler Körper von einfarbigem Lichte beschienen wird, gleichgiltig, welcher Farbe es angehört, ist sein Schatten schwarz. Wird der Körper aber von zwei verschiedenfarbigen Lichtquellen so beleuchtet, daß zwei Schatten entstehen, so sind sie beide farbig, weil jeder Schatten von dem anderen Lichte beschienen wird, wobei es noch darauf ankommt, ob die auffangende Wand weiß oder farbig ist.

Das Mondlicht ist bläulich, das Kerzenlicht röthlich-gelb. Der auf einer weißen Wand vom Monde beleuchtete Schatten ist bläulich, der von der Kerze beleuchtete röthlich-gelb. — Läßt man durch ein blaues und daneben befindliches gelbes Glas weißes Licht gehen, so ist der Schatten von jenem gelb, von diesem blau gefärbt durch das andere Licht. — Der von dem blauen Himmel beleuchtete Schatten vom weißen Sonnenlichte ist blau; würde der Schatten durch die Farbe eines Zimmers erleuchtet, so würde er die betreffende Farbe tragen. — So ist

am Tage bei nur mäßig bedecktem Himmel der Schatten einer Stearinkerze auf weißem Grunde blau; aber auf einem gelben Grunde ist er grün, bildet also mit dem Gelb die Kombinationsfarbe. — Kommt durch ein Fenster grünes, durch das zweite weißes Licht in die Stube, so ist der vom grünen Lichte beleuchtete Schatten, den das weiße Licht wirft, auf dem weißen Grunde roth; das Auge ergänzt also die dem Grün zu Weiß fehlende Farbe. — Läßt man dagegen in ein verfinstertes Zimmer durch Oeffnungen in einem Laden weißes und grünes Licht kommen, so ist der von dem weißen erleuchtete Schatten des anderen roth gefärbt, während der Schatten des weißen Körpers grün ist.

Endlich ist noch als subjektive Farbenerscheinung das sogen. Abklingen der Farben zu erwähnen. Wenn man ein weißes von der Sonne erleuchtetes Papier auf schwarzem Grunde starr angesehen hat und wendet das geschlossene Auge schnell auf eine dunkle Wand, so geht das anfängliche Weiß in Orange, Roth, Violett, Grünlichblau über und verschwindet endlich im Dunkel; wendet man das Auge aber auf eine helle Wand, so erscheinen und verschwinden die Farben in umgekehrter Ordnung, wobei der Uebergang aus einer Farbe in die andere stets vom Rande aus beginnt. Der Grund liegt in der verschiedenen Kraft der in dem weißen Lichte enthaltenen Lichtstrahlen, indem die schwächsten auch am frühesten die Einwirkung auf das Auge verlieren.

Chemische Wirkungen des Lichtes.

Alle chemischen Erscheinungen sind eine Folge der Atombewegungen der verschiedenen Stoffe, indem dieselben zufolge ihrer eigenthümlichen Gestalten entweder zu einander oder von einander gehen und so beziehungsweise chemische Verbindungen oder Trennungen bewirken. Da nun der Weltäther in seiner außerordentlichen Zartheit alle Stoffe bis auf ihre Atome durchdringt, so werden seine Bewegungen auch die der Atome einleiten und zwar um so mehr, je stärker sie selbst sind.

Läßt man das Farbenspektrum des weißen Sonnenlichtes auf einen Papierstreifen gelangen, welcher mit Chlorsilber überzogen ist; so zeigt sich eine nach dem Violett hin wachsende schwärzende Wirkung und sie ist sogar darüber hinaus am größten, wogegen sie beim Roth verschwindet, selbst wenn man diese Strahlen durch eine Linse sammelt. — Ist indeß durch stärker wirkendes Licht eine chemische Verbindung oder Zersetzung eingeleitet, so kann sie durch schwächeres fortgesetzt werden, gleichwie bei der chemischen Harmonika die Schwingungen der Luftsäule sich anregen ließen durch andere, so daß der Ton in jener entstand, wenn derselbe Ton äußerlich hervorgebracht wurde (Vgl. Bd. II. S. 136). Befinden sich in einer weißen Glasröhre Chlorgas und Wasserstoffgas, so bleiben sie unter dem Einflusse des rothen Lichtes unverbunden; ist aber durch violettes Licht die Verbindung eingeleitet, so ist das gelbe

und rothe im Stande, sie fortzuführen. Im Finstern bleiben die Gase unverbunden, im Tageslicht geschieht die Vereinigung allmählich, aber beim Sonnenlichte plötzlich unter einer Explosion. Das Produkt ist Salzsäuregas. — Die Schwärzung des Chlorsilbers erfolgt nicht unter dem Einflusse des Lichtes aus zwei Quellen, wenn und wo Interferenz eintritt. Dies ist der deutlichste Beweis davon, daß das Licht nur wegen seiner Schwingungen geeignet ist, chemisch zu wirken und daß die chemischen Erscheinungen wesentlich auch Bewegungserscheinungen sind.

Es ist natürlich, daß zu jeder bestimmten chemischen Veränderung auch eine bestimmte Kraft erforderlich ist und daß, wenn die Veränderung bewirkt worden, diese Kraft vernichtet ist. Die Bestätigung davon zeigt sich recht auffallend darin, daß dem weißen Lichte, wenn es durch einen Körper gegangen ist und ihn dabei verändert hat, diejenigen Strahlen fehlen, welche die Veränderung erzeugt haben und welche man blos durch die betreffenden einfarbigen Strahlen hervorbringen konnte.

Wenn auch die durch Körper dringenden Lichtstrahlen nicht die chemische Natur des Körpers verändern, so rufen sie in ihnen doch schwingende Bewegungen hervor, welche die Farbe des Körpers abändern. Dies zeigen die Erscheinungen der Fluoreszenz. Wenn man nämlich gewisse Körper, wie den Flußspath oder eine wässrige Lösung von schwefelsaurem Chinin, durch die verschiedenen Farben des Spektrums führt, so werden die Farben desselben vom Roth an unverändert durchgelassen; so wie man aber an die Gränze des Violetten und darüber hinaus kommt in den scheinbar dunklen Raum, so zeigen sich jene Körper leuchtend, aber mit einer Farbe von geringerer Brechbarkeit: ultraviolette Strahlen zeigen sich in ihnen als himmelblau, die grünen werden roth. Es findet also durch diese Körper eine Verminderung der Schwingungszahl oder eine Vergrößerung der Wellenlängen statt und das Licht ist nicht etwa ein zurückgeworfenes oder polarisirtes.

Die Lösungen in Alkohol von dem grünen Farbestoffe der Pflanzenblätter zeigen blutrothe Fluoreszenz, die braune Farbe des Wasseraufgusses auf grüne Kastanienschalen zeigt einen bläulichen Schimmer.

Viele Farben der Körper werden durch das weiße Licht verändert, manche werden dunkler, andere heller und manche ganz zerstört.

Die verbindenden und zersetzenden Wirkungen zeigen sich noch in vielen Fällen. Wir wollen noch einige davon anführen. Bringt man einen Zweig mit frischen grünen Blättern unter eine weiße Glasglocke, welche Wasser mit Kohlensäure enthält; so wird diese unter dem Einflusse des Sonnenlichtes dem Wasser entzogen und an den Blättern bildet sich Sauerstoff, welcher in den oberen Theil der Glocke steigt. — Auch aus oxydirten Körpern wird der Sauerstoff durch das Sonnenlicht ausgeschieden: das Chlorgas im Chlorwasser entzieht dem Wasser seinen Wasserstoff, bildet mit ihm Salzsäure und der Sauerstoff entweicht. — Die wasserhelle konzentrirte Salpetersäure verliert den Sauer-

stoff zum Theil, so daß sie in Untersalpetersäure übergeht und wird dabei gelb. — Phosphor verliert seine Durchsichtigkeit. — Will man die chemische Umwandlung und Farbenveränderung verhindern, so muß man solche Körper im Finstern aufbewahren und die Gläser mit schwarzem Papier umgeben.

Auch die Wärme bringt, wie wir schon beim Stahle kennen gelernt haben, Farbenumwandlungen hervor, was ein Zeichen eines gewissen Verwandtschaftsgrades von Licht und Wärme ist. — Das strohgelbe salpetrigsaure Gas wird beim Erhitzen in Glasröhren blutroth und dann schwarz. — Zinnober, Mennige, rothes Quecksilberoxyd ändern beim Erhitzen auch die Farbe, bekommen sie aber beim Erkalten wieder. — Selbst Reduktionen und Niederschläge werden durch Licht hervorgebracht: so bei Gold aus manchen seiner Auflösungen.

Wird eine polirte Silberplatte im Dunkeln über Jod-Chlor oder Brom-Jod gehalten, bis sie goldgelb aussieht, dann dem Tages- oder Sonnenlichte ausgesetzt, so wird sie nach und nach schwarz, später aber grünlichgelb und dann hellstahlgrau. Dies ist eine Folge der Ausscheidung des Silbers aus der Verbindung und bildet die chemische Grundlage der Photographie, welche eine der herrlichsten und folgenreichsten Erfindungen der Neuzeit ist und bereits ihre mannigfaltigste Anwendung gefunden hat.

Unter den für die Naturwissenschaften wichtigen Leistungen erwähnen wir noch die Darstellung mikroskopischer Körper in großem Maßstabe, ebenso der verschiedenen Lichtspektra, des elektrischen Funkens. — Skulpturen, geschichtliche und geographische Dokumente u. a. werden aufstreueste wiedergegeben.

Die physikalische Grundlage bildet die dunkle Kammer (Camera obscura). An der Vorderfläche eines innerhalb geschwärzten Kastens befindet sich ein zylinderförmiges und verschiebbares Rohr mit den achromatischen Linsen zur Erzeugung des Bildes von einem Gegenstande, aus der Hinterfläche desselben ragt ein anderer verschiebbarer Kasten hervor, welcher hinten einen Falz hat, um eine mattgeschliffene Glastafel und dann die photographische Platte einzuschieben. Der ganze Apparat wird so eingestellt, daß bei zerstreutem Tageslichte auf der Glastafel ein scharfes Bild entsteht, welches man nach Beseitigung eines Schiebers von hinten betrachten kann, wobei man zur Abhaltung fremden Lichtes seinen Kopf und den Apparat mit einer dunklen Decke überhängt. Hat sich ein scharfes Bild gezeigt, so bringt man statt der Glastafel die im Finstern präparirte photographische Platte in den Apparat. Die Bilder sind negativ, wenn die Schatten des Objektes hell und die Lichter dunkel geworden sind. Die auf Glasplatten fixirten negativen Bilder dienen zur Anfertigung beliebig vieler positiver Bilder, wobei photographisch präparirte Tafeln unter die Glasplatten gelegt und dem direkten Sonnenlichte ausgesetzt werden. Da die von den Körpern ausgehenden farbigen

Lichtstrahlen nicht eine gleiche chemisch wirkende Kraft haben, so ist auf die Wahl der Farben zu den Bekleidungen für solche, welche sich photographiren lassen, Rücksicht zu nehmen.

Die Ausführung der Lichtbilder ist bereits auf die verschiedensten Stoffe mit Erfolg versucht worden: auf metallisches Silber, auf Glas mittelst Kollodium oder Albumin, negative Bilder auf Papier (Kalotypie), Bilder auf Wachstuch (Panotypie), auf Porzellan, auf gewebte Zeuge, auf Stein, Stahl, Kupfer, Messing zur Herstellung von Druckplatten. Weiteres darüber anzuführen, liegt außerhalb der Zwecke dieses Werkes.

Dritter Abschnitt.

Von der Wärme.

Ausdehnung durch Wärme.

Nachdem wir der Ausdehnung der Körper durch die Wärme früher nur eine einzelne, praktisch wichtige Seite abgewonnen, nämlich die Mittel aufgefunden haben, durch welche wir den Grad der Wärme verschiedener Körper anzugeben und dadurch bei Festhaltung eines bestimmten Stoffes von bestimmter Ausdehnung ein absolutes Wärmemaß aufzufinden vermochten, müssen wir mit Benutzung der gewonnenen Resultate noch weitere Untersuchungen über die Ausdehnung der Körper durch Wärme anstellen und wollen dieselben hauptsächlich auf die drei Aggregatzustände beziehen.

1. Ausdehnung fester Körper. Wenn feste Körper ein gleichmäßiges Gefüge in ihrem Inneren haben, so ist die Ausdehnung derselben bei Erhöhung ihrer Temperatur nach allen Richtungen gleichmäßig; zeigen sie aber, wie z. B. die Krystalle und die Holzarten nach verschiedenen Richtungen einen verschiedenen Grad des Zusammenhanges der Massentheile, so dehnen sie sich auch nach verschiedenen Seiten verschieden stark aus. Je größer die Kohäsion, desto geringer die Ausdehnung. Ist durch die Zunahme der Temperatur eines Körpers seine Kohäsion schon etwas gelockert, so wird er bei einer gleichen Wärmezunahme sich mehr ausdehnen, als es früher der Fall war, denn die ihm jetzt zugeführte Wärme findet einen geringeren Widerstand. Bei festen Körpern findet indeß die Ausdehnung bei einer gleichmäßigen Zunahme der Temperatur von 0° bis 100° C. noch ziemlich gleichmäßig statt. Von praktischem Interesse sind die Ausdehnungen stabförmiger Körper oder die lineare Ausdehnung und die Ausdehnung rücksichtlich des ganzen Rauminhaltes oder die kubische Ausdehnung.

a) Die lineare Ausdehnung. Wenn ein Eisenstab bei 0° C. eine Länge von 1 Fuß hat, nach einer Erwärmung auf 100° C. aber 1,0012 Fuß lang ist, so hat sich seine Länge bei dieser Wärmezunahme um 0,0012′ vergrößert. Bei einer zwischen 0° und 100° gleichmäßigen Zunahme der Länge käme also auf einen Grad nur der hunderte Theil von 0,0012 oder 0,000012. Die Zahl, welche anzeigt, um den wievielten Theil seiner Länge sich der feste Körper ausgedehnt hat, wenn er von 0° auf 1° C. erwärmt worden ist, heißt sein Ausdehnungskoeffizient.

Folgende Tabelle gibt für einige der wichtigsten Körper die Ausdehnungskoeffizienten an:

Platin	0,00000856	Kupfer	0,00001717
Glas, weißes . .	0,00000862	Messing	0,00001892
Eisen, Guß- . .	0,00001110	Silber	0,00001909
Eisen, Stab- . .	0,00001167	Zinn	0,00002173
Stahl, weicher .	0,00001079	Blei	0,00002848
Stahl, harter . .	0,00001225	Zink, gewalzt . .	0,00003331
Gold	0,00001552	Eis	0,00005080

Die Berücksichtigung der Ausdehnung der Körper bei der Zunahme und der Zusammenziehung bei der Abnahme ihrer Temperatur ist in außerordentlich vielen Fällen des praktischen Lebens wichtig. Bewunderungswürdig ist die hierbei sich häufig entwickelnde außerordentliche Kraft. Bei der Zunahme der Temperatur ist es die Summirung der wachsenden Schwingungskräfte der einzelnen Molekel, bei der Abnahme die gleichmäßig wachsende Kohäsionskraft derselben. Die Summen sind hier in ähnlicher Weise groß wie bei der Kapillarattraktion (Bd. I. S. 113).

Gelegentliche Anwendung von der durch die Wärme veränderten Ausdehnung der Metalle haben wir beim Metallthermometer (Bd. II. S. 114), beim Rostpendel (Bd. I. S. 387) und bei der Unruhe der Uhren (Bd. I. S. 546) schon gemacht. Wir wollen noch eine Reihe anderer Fälle mittheilen.

Auf Metallmaßstäben, welche in den Aichungsämtern als Richtschnur für die Anfertigung anderer dienen sollen, muß die Temperatur angeführt sein, bei welcher sie das Normalmaß angeben. — Die Radeisen schlägt man glühend heiß um die hölzernen Radfelgen, damit sie beim Erkalten das Holz recht fest umschließen. — Beim Legen der metallenen Röhren zu Gas-, Dampf- nnd Wasserleitungen wendet man sog. Ausgleichungsröhren an, welche eine Veränderung der Ausdehnung von jenen gestatten, ohne daß sie aufhören hinreichend dicht zu sein. Man windet zu diesem Zwecke Bleistreifen um das Ende eines Röhrenstückes, welches in ein nächstfolgendes gepaßt werden soll und verkeilt dieselben, wobei noch andere Dichtungsmittel, wie in Theer, Pech und Fette getränkter Hanf, angewendet werden. — Werden Eisenbahnschienen bei großer Wärme

auch ziemlich dicht aneinander gelegt, so haben sie bei der Winterkälte doch so auffallende Zwischenräume, daß man beim Fahren lauter kleine Stöße während des Ueberganges von einer Schiene zur anderen bemerkt, zumal wenn die Schwellen etwas nachgibig sind. Bei großer Kälte dürfen sie nicht allzunahe, bei großer Hitze nicht allzuentfernt gelegt werden. — Ebenso dürfen bei Metalldächern die einzelnen Platten nicht fest aufeinander genagelt, sondern müssen nachgibig ineinander gefalzt werden. — Sind die Nägel bei Schindeldächern recht fest in die Latten und Schindeln eingerostet, so zerreißen sie dazwischen bei großer Winterkälte. — Beim Metallgusse füllt das erkaltete Metall die Form nicht mehr vollständig aus; kann es sich also beim Erkalten nicht gehörig zusammenziehen, so zerreißt es. — Ebenso zerreißen bisweilen eiserne Klammern und Anker. — Starke gewichene Mauern hat man dadurch in ihre alte Richtung gebracht, daß man durch sie ziemlich dicke eiserne Stangen steckte, dieselben mittelst Kohlenbecken zwischen den beiden Mauern glühend heiß machte und während der Zeit an ihren Enden lange Anker befestigte. Bei dem Erkalten der Stange zogen die Anker die Mauern grade. — Die Eisenstangen zu Umfriedungen dürfen in die Ständer auch nicht ohne einen kleinen Spielraum befestigt werden. — Metallene Pfannen und Kessel müssen ebenfalls sich ausdehnen können. — Haften zwei Körper, deren Ausdehnung bei derselben Temperaturzunahme verschieden ist, z. B. Metall und Siegellack, bei einer gewissen Temperatur gut aneinander, so trennen sie sich bei abnehmender Temperatur von einander. — Werden von Körpern, welche entweder sehr gute oder sehr schlechte Wärmeleiter sind, nur einzelne Theile einer sehr raschen Abkühlung oder Erwärmung ausgesetzt, so lösen sie sich leicht von den anderen ab oder sie zerplatzen. Dieses kann man leicht an einer heißen eisernen Herdplatte erfahren, auf welche man kaltes Wasser gießt oder an kaltem dickem Glase, welches auf eine heiße Platte gesetzt wird oder in welches man eine heiße Flüssigkeit gießt. — Das Absprengen des Glases mit sogen. Sprengkohlen beruht auch darauf. — Wird ein kalter Glasstöpsel in eine ganz warme Glasflasche genau eingepaßt und gesteckt, so läßt er sich nach dem Erkalten der Flasche nicht mehr herausziehen. Dieses ermöglicht man dadurch, daß man den Hals der Flasche allein möglichst schnell stark erwärmt, indem man ihn zweimal mit einem festen Bindfaden umschlingt und diesen möglichst rasch hin und her schleift, indem man abwechselnd an seinen beiden stramm gehaltenen Enden zieht. — Hat man in kaltes Nageleisen heiße Nägel festgeschlagen, so lassen dieselben nach dem Erkalten sich leicht herausziehen. — Sollen aus einem Geschütze glühende Kugeln geschossen werden, so müssen die kalten Kugeln in ihm einen angemessenen Spielraum haben. — Manche Körper, wie Thon und Holz, scheinen eine Ausnahme davon zu machen, daß Erhöhung der Temperatur sie ausdehnt, denn sie ziehen sich in diesem Falle zusammen, was man schwinden nennt. Aber dies geschieht

nur, weil sie hierbei das früher festgehaltene Wasser verlieren. Beim Holze wenden die Schiffbauer, Böttcher und Stockfabrikanten Wasser und Feuer an, um dadurch den Planken, Dauben und Stäben eine andere und zwar bleibende Gestalt zu geben, namentlich um sie zu krümmen. Das Holz wird an der Seite, welche die hohle (konkave) werden soll, heiß gemacht, indem man die Nachgibigkeit der Holzfasern durch Anfeuchten zu befördern sucht, und auf der anderen Seite, welche die erhabene (konvexe) bilden soll, nur feucht gehalten.

b) Die kubische Ausdehnung. Wenn man einen Würfel oder Kubus hat und man kennt die Länge von einer seiner Kanten, so braucht man diese nur dreimal als Faktor zu setzen oder zweimal mit sich selbst zu multipliziren, um den Rauminhalt oder den kubischen Inhalt des Körpers in derselben Maßsorte, welche für die Kante angenommen war, zu erhalten. Ist die Kante eines Würfels z. B. 2 Zoll lang, so ist sein Inhalt 2 . 2 . 2 = 8 Kubikzolle.

Kennt man also bei einem bestimmten Stoffe die durch Wärmezunahme bewirkte Vergrößerung seiner Länge, so läßt sich die kubische Ausdehnung berechnen. Der Ausdehnungskoeffizient für den Rauminhalt ist nahe dreimal so groß, als der für die Längenausdehnung desselben Körpers.

Der lineare Koeffizient (also für 1° C. Temperaturerhöhung) des Glases ist 0,00000862, der kubische 0,00002586 und für 100° C. Temperaturerhöhung ist die kubische Ausdehnung 100 mal größer, also 0,002586. Wenn nun ein Glasgefäß bei 0° Temperatur 1 Quart aufnimmt, so enthält es bei 100° C. 1 + 0,002568 = 1,002586 und bei 1000 Quart ursprünglichen Inhaltes 1000 mal mehr oder 1002,586 Quart.

2. Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten. Da man die Ausdehnung der Flüssigkeiten durch die Wärme nur untersuchen kann, während sie in Gefäßen sich befinden, da aber diese selbst auch eine Volumenänderung erleiden, so hat es einige Schwierigkeiten, die absolute Ausdehnung, d. h. die von der Ausdehnung der einschließenden Gefäße unabhängige zu bestimmen.

Die einfachste Methode besteht darin, daß man die Flüssigkeiten in eine Glaskugel thut, an welcher sich eine bis zu einem bestimmten Punkte sehr verengende, dann aber in einen kleinen Trichter ausgehende Röhre befindet. Man füllt die Kugel mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, bringt sie in Wasser mit Eis, bis das Ganze 0° Temperatur angenommen hat und bis zum Merkzeichen an der Röhre reicht; hierauf bestimmt man das Gewicht der eingeschlossenen Flüssigkeit, indem man von dem Gewichte des Ganzen das des Glases abzieht; nun bringt man das Gefäß mit der Flüssigkeit in Wasser oder Oel von einer bestimmten Temperatur, z. B. 50° C., beseitigt die über die Marke tretende Flüssigkeit, bis eine Ausdehnung derselben nicht mehr stattfindet;

endlich wird das Gewicht der jetzt noch darin befindlichen Flüssigkeit aufgesucht, woraus sich mit Rücksicht auf den bestimmten Rauminhalt der Kugel der Ausdehnungskoeffizient der Flüssigkeit berechnen läßt.

Unter allen Flüssigkeiten spielt das Wasser eine ganz besonders hervorragende Rolle, welche für den Haushalt der Natur äußerst wichtig ist; denn es dehnt sich nicht nur weniger aus, als die übrigen Flüssigkeiten, sondern es zieht sich bei seiner allmähligen Erwärmung von 0° an zuerst mehr und mehr zusammen, hat bei 4° C. (eigentlich 3,94° C.) seine größte Dichtigkeit oder nimmt das kleinste Volumen ein und erst bei weiterer Erwärmung dehnt es sich fortwährend aus, so daß es, wenn es bei 4° C. den Raum 1 hat, bei 100° C. den Raum 1,04315 einnimmt. Diese wichtige Eigenschaft des Wassers läßt sich auch, ohne die obige Messung vorzunehmen, aus folgender Beobachtung leicht erkennen.

Man nehme ein etwa 8 Zoll hohes Zylinderglas, fülle es mit Wasser von 0°, bringe ein Thermometer mitten an den Boden des Glases, ein zweites übereinstimmendes oben unter dem Niveau an und setze das Gefäß in ein warmes Zimmer. Das Quecksilber in beiden Thermometern steigt zwar, aber anfänglich das im unteren schneller, als im oberen, bis es 4° zeigt, und nun erst steigt das obere Thermometer schneller. — Hat man im Gefäße anfänglich wärmeres Wasser, etwa zu + 15° C., und läßt man es in einem kalten Zimmer stehen; so steht anfänglich bei der von beiden angezeigten Abkühlung das untere Thermometer tiefer, als das obere; hat das untere + 4° erreicht, so steht das obere tiefer, als das untere. — Streut man in das Wasser etwas Bernsteinpulver, so kann man die Verschiedenheit der Wasserströmung beobachten. Ehe das Wasser sich soweit abgekühlt hat, daß es am Boden 4° hat, fällt das obere und an den Gefäßwänden befindliche kälter werdende Wasser; geht aber die Abkühlung unter 4°, so fängt das Wasser vom Boden an zu steigen. Das Wasser von 4° ist also am schwersten.

Folgende Tabelle zeigt das Volumen bei verschiedenen Temperaturen, wenn das bei 0° gleich 1 angenommen wird.

Temper.	Volumen.	Temper.	Volumen.	Temper.	Volumen.
0	1,000000	14	1,000556	40	1,007531
1	0,999947	15	1,000695	45	1,009541
2	0,999908	16	1,000846	50	1,011766
3	0,999885	17	1,001010	55	1,014100
4	0,999877	18	1,001184	60	1,016590
5	0,999883	19	1,001370	65	1,019320
6	0,999903	20	1,001567	70	1,022246
7	0,999938	21	1,001776	75	1,025440
8	0,999986	22	1,001995	80	1,028581
9	1,000048	23	1,002224	85	1,031894
10	1,000124	24	1,002465	90	1,035397
11	1,000213	25	1,002715	95	1,039094
12	1,000314	30	1,004064	100	1,042986
13	1,000429	35	1,005697		

Das Wasser von 0° hat also fast genau dasselbe Volumen und somit dieselbe Dichtigkeit wie das von 9°. — Das Meerwasser befolgt wegen seines Salzgehaltes eine andere Ausdehnung und hat auch einen tiefer liegenden Gefrierpunkt und höher liegenden Kochpunkt Ueberhaupt verliert das Wasser durch Zusatz von Salzen und Säuren an Ausdehnbarkeit durch die Wärme.

Eisbildung auf Gewässern im Freien. Wir müssen hierbei die stehenden Gewässer von den fließenden unterscheiden, denn bei jenen beginnt die Eisbildung an der Oberfläche, bei diesen am Boden oder auf dem Grunde und wir haben zunächst Grundeis.

Kühlt sich beim Beginne des Winters die Luft mehr und mehr ab, so nimmt auch die Oberfläche der stehenden Gewässer an dieser Abkühlung Theil. Das kälter gewordene Wasser sinkt zu Boden und das wärmere kommt herauf, um sich auch abkühlen zu lassen und ist dieses bis zu einer niedrigeren Temperatur, als sie das untere Wasser besitzt, geschehen; so sinkt es auch hinab. Das hinabsinkende Wasser wird bei der Berührung mit dem heraufkommenden freilich auch wieder etwas erwärmt. Dieser Wechsel findet so lange statt, bis das abgekühlte Wasser 4° Wärme hat und nun bleibt es auf dem Boden liegen; darüber lagert sich dann nach obenhin das allmählig kälter gewordene, bis endlich die Abkühlung oben 0° erreicht hat und sich die Eisdecke bildet. Bei weiter abnehmender Lufttemperatur nimmt die Dicke der Eisdecke zwar zu, aber je dicker sie wird, desto mehr schützt sie das Wasser unter

ihr vor dem weiteren Gefrieren, welches selbst als ein schlechter Wärmeleiter und wegen seines spezifischen Gewichtes dazu beiträgt, daß ihm von dem Eise an die Temperatur von 0°, nach der Tiefe bis zu 4° wachsend, erhalten bleibt. Außerdem wirkt noch die innere Wärme des Erdbodens und somit haben die in mäßig tiefen Gewässern lebenden Geschöpfe die Bedingungen zu ihrer Existenz. Sie suchen sich hierbei in der Regel das wärmste Wasser auf, leben also auf dem Boden.

Anders ist es bei fließenden Gewässern. Hier wälzt das Wasser sich nach und nach so untereinander, daß bei einer Lufttemperatur von etwa — 8° die ganze Wassermasse bis auf den Grund 0° zeigt. Da nun die Krystallbildung an den in der Flüssigkeit befindlichen festen Körpern besonders begünstigt wird, so setzen sich Eiskrystalle an alle am Boden des Flusses befindlichen Körper und an ihn selbst. Weil aber das Eis leichter ist, als Wasser, so kann es sich dort in großen Massen nicht bilden, sondern löst sich in losen, aus Eisnadeln zusammengesetzten Schollen ab, welche die fremden Körper, selbst schwere Ankerketten, mit sich in die Höhe führen. Wenn dann diese in großer Zahl sich bildenden Schollen, das sogen. Grundeis, sich an den Brückenpfeilern und anderen Hindernissen ansammeln, so bilden sie bei der herrschenden größeren Kälte bald eine feste Eisdecke, welche das tiefere Eindringen des Frostes wehrt.

Es ist ermittelt, daß Grundeis sich auch an den seichteren Stellen der Meeresufer bildet, wozu aber eine tiefere Temperatur gehört, als bei süßen Gewässern.

Wasserheizung. Wenn das Wasser in einem Behälter an irgend einer Stelle von 4° an erwärmt wird, so steigt das wärmere Wasser in die Höhe und sein Abgang wird durch kälteres ersetzt. Wenn nun letzteres wieder und noch mehr erwärmt wird und das emporgestiegene, wenn auch nur theilweise sich abgekühlt hat, so entsteht so lange ein Kreislauf des Wassers, als noch die Bedingung für eine größere Wärme des unten befindlichen Wassers, und eine Abkühlung des oberen gegeben ist.

Gehen also von der Decke eines abgeschlossenen Kessels Röhren nach höheren Orten und von da, wo sie mannigfaltige Krümmungen haben können, wieder zurück nach dem unteren Raume dieses Kessels, so kann man durch Erheizen des Wassers im Kessel einen fortwährenden Kreislauf desselben in diesem Röhrensysteme hervorbringen. Es ist nun natürlich, daß das Wasser in den Röhren, welche durch kalte Räume geleitet sind, seine Wärme mittelst der Röhren diesen Räumen abgibt und sie dadurch erwärmt. Dabei ist die Einrichtung zu treffen, daß die Leitung von jedem einzelnen Raume abgesperrt werden kann, wenn eine hinreichende Erwärmung bereits stattgefunden hat, oder gar keine vorgenommen werden soll. Da das Wasser die größte Wärmekapazität unter allen Stoffen hat (Bd. II., S. 117), so ist es für diesen Zweck außer-

ordentlich gut geeignet. Man erspart die Oefen, den Bau und das Reinigen der Schornsteine bis auf den einen zur Feuerung, hat nicht die Mühe des Anfeuerns und Beobachtens vieler Oefen, die Gefahr vor dem Ersticken durch Kohlendampf ist nicht vorhanden, man kann für die eine Feuerung die Anlage zur möglichsten Ersparung von Brennmaterial, z. B. durch Verbrennung des Rauches, durch Speisung des Feuers mit warmer Luft, viel leichter herstellen, als bei einzelnen Oefen. Daß die Zuleitungsröhren mit ganz schlechten Wärmeleitern umgeben sein müssen, ist selbstverständlich. — Der allgemeinen Einführung dieser vortrefflichen Beheizungsmethode in vielbewohnten Privathäusern stehen die so vielfach bestehenden Privatinteressen leider hemmend entgegen und wir werden hier auf eine andere Abhilfe der Uebelstände der bisherigen Beheizungsmethode zu denken haben.

Das Kühlwasser, welches in Brennereien, Destillationen und Laboratorien dazu bestimmt ist, Dämpfe abzukühlen, so daß aus ihnen eine tropfbare Flüssigkeit wird, leitet man in den unteren Theil des Kühlgefäßes, worin das gewundene Rohr mit den Dämpfen sich befindet, und sorgt für den Abfluß des erwärmten Wassers von oben. Wollte man das kalte Wasser oben einführen, so würde es beim Fallen durch das oben sich haltende leichte warme Wasser sich schon erwärmen und der beabsichtigte Zweck weniger gut erreicht werden.

In Badehäusern werden die höher gelegenen Röhren wärmeres Zuleitungswasser enthalten, als die tiefer liegenden und das zukalte Wasser wird von unten weggeführt.

Auch in den Meeren zeigen sich die Folgen der Wärme auf das Wasser. In den heißen und gemäßigten Zonen nimmt die Temperatur nach der Tiefe ab, in den kalten Zonen, wo die Oberfläche unter 0° abgekühlt ist, nimmt die Wärme nach unten zu. Die Strömungen des Meeres werden vorzüglich durch Wärmeunterschiede hervorgebracht, aber die Axendrehung der Erde und die Beschaffenheit des Meeresgrundes bringen darin freilich manche Abänderungen hervor.

3. Ausdehnung luftiger Körper. Die Wärme findet bei den luftigen Körpern einen noch geringeren Widerstand, als bei den tropfbaren, dehnt sie also bei einer gewissen Zunahme am meisten aus. Da die Kohäsion der luftigen Körper als verschwindend klein angesehen werden muß, so werden sie am sichersten die in der Wärme liegende Kraft bestimmen lassen.

Die große Raumerweiterung der atmosphärischen Luft durch Wärme erkennt man u. a., wenn man in einer thierischen weichen Blase nur wenig kalte Luft absperrt und sie in die Nähe eines geheizten Ofens oder eines offenen Herdfeuers bringt; denn die Blase wird aufgebläht und oft ganz erfüllt. Wir erkennen hierbei zugleich, daß die Luft mit zunehmender Wärme auch eine zunehmende Druckkraft auf die inneren Wände der Blase erlangt. Wenn die Blase sich ungehindert erweitern

kann, so wird diese Druckkraft eben nur zur Vergrößerung des inneren Raumes verwendet, ohne daß ein gewisser Flächentheil der Blase bei größerem Volumen der Luft mehr gedrückt würde, als bei kleinerem, denn in jedem Falle hält dem inneren Drucke der äußere, für diesen Fall als sich gleichbleibend anzusehende, Atmosphärendruck das Gleichgewicht; wenn aber die Blase sich nicht mehr erweitern kann und die Temperatur der eingeschlossenen Luft dennoch zunimmt, so wächst die Druckkraft auf jeden bestimmten Flächentheil.

Von den beiden so wichtigen Thatsachen, daß Erwärmung der Luft theils ihren Raum vergrößert und sie dadurch leichter macht, theils ihre Druckkraft vermehrt, wenn man die Raumerweiterung verhindert, kann man sich leicht auch eine Ueberzeugung verschaffen, wenn man ein röhrenförmiges Gläschen (Reagenzglas) umgekehrt ins Wasser taucht, nur theilweise mit Wasser füllt und die Luft über demselben durch eine Spiritusflamme erwärmt. Vor der Erwärmung halten die kleine Wassersäule über dem Niveau und die abgesperrte Luft das Gleichgewicht dem Drucke der freien Atmosphäre auf den äußeren Wasserspiegel. Wird die Luft erwärmt, indem man das Gläschen festhält, so wird die innere Wassersäule mit steigender Erwärmung mehr und mehr herabgedrückt; wird aber das Gläschen nicht festgehalten, so wird es durch die Expansivkraft der Luft gehoben.

Um genauere Bestimmungen über die Ausdehnung der Luftarten durch die Wärme zu erhalten, nimmt man eine Glaskugel, an welche sich eine Röhre von überall genau gleicher Weite schließt, bestimmt das Verhältniß der Rauminhalte der Röhre und der Kugel, indem man beide und eine allein nach einander mit Quecksilber füllt und dasselbe abwägt, dann theilt man die Röhre in gleiche Theile so, daß 1 Theil $1/_{1000}$ von dem Rauminhalte der Kugel ist. Wird nun die Kugel mit der zu untersuchenden und durch Chlor völlig getrockneten Luftart gefüllt, so daß das Quecksilber in der Röhre bis zu dem an der Kugel liegenden Nullpunkte der Eintheilung reicht, wenn das Glas 0° Temperatur hat, und setzt man nun die Kugel und den Röhrentheil bis zu Anfange der Quecksilbersäule in einem Wasserbade einer steigenden Temperatur aus; so läßt sich für jeden Wärmegrad die Ausdehnung der Luft bis auf Tausendtel ihres Rauminhaltes genau bestimmen.

Die Röhre hat bei diesen Versuchen eine horizontale Lage, indem sie durch einen Korkpfropfen verschiebbar aus dem Metallgefäße mit Wasser hervorragt. Schließt sich an die Röhre ein lothrecht aufsteigendes Barometerrohr, so kann man beobachten, eine wie hohe Quecksilbersäule die Luft bei jeder Temperatur zu tragen fähig, welches also die Spannkraft oder der Druck ist, den sie auf eine Fläche von gewisser Ausdehnung ausübt.

Die Zunahme der Expansivkraft der Luftarten unter gleichem Drucke bei ihrer Erwärmung von 0° bis 100° C., ausgedrückt als Bruchtheil

von der Druckkraft bei 0°, ist ihr Ausdehnungskoeffizient. Temperatur und Expansivkraft wachsen innerhalb dieser Gränze in gleichem Verhältnisse und das Mariottesche Gesetz (Bd. I. S. 220) behält überall seine Geltung.

Man nimmt als Koeffizient auch die Ausdehnung bei 1° Wärmezunahme und dann müssen die folgenden Zahlen noch mit 100 dividirt werden.

Die Ausdehnungskoeffizienten von 0° bis 100° C. sind für

atmosphärische Luft . .	0,3665	Kohlensäure	0,3709
Wasserstoffgas	0,3661	Stickstoffoxydulgas . . .	0,3720
Kohlenoxydgas	0,3669	Cyangas	0,3877
Schweflige Säure	0,3867		

Es ist nun leicht möglich die Zunahme des Volumens der Luft bei einer gewissen Temperaturerhöhung zu bestimmen. 1 Liter atmosphärische Luft wiegt bei 0° Temperatur und dem mittleren Barometerstande von 760 Millimetern 1,2932 Gramme oder 21,23621 preuß. Gran. 1 Pfund Luft nimmt bei 0° den Raum von 386638 Kubikzentimetern ein. Da dieselbe sich nun für jeden Grad Temperaturerhöhung um 0,003665 (oder $1/_{273}$) ihres Volumens ausdehnt, so wird 1 Pfund bei 1° Erhöhung 386638 . 0,003665 = 1417,01363 Kubikzentimeter und bei Erwärmung bis 20° schon 20 . 1417,01363 = 28340,2726 Kubikzentimeter mehr Raum einnehmen, als bei 0°. Daher ist jetzt ihr Volumen 386638 + 28340,2726 = 414978,27 Kubikzentimeter.

Es wiegt von der atmosphärischen Luft bei 0° und 760 Millimtr. Barometerstand:

1 Kubikzoll			1 Kubikfuß			Benennung.
pariser	rheinl.	engl.	pariser	rheinl.	engl.	
0,02565	0,02313	0,02118	44,327	39,980	36,605	Gramme oder
0,42121	0,37990	0,34784	727,84	656,47	601,07	preuß. Gran.

Luft ist bei 0° 773mal leichter, als Wasser und 105135mal leichter, als Quecksilber.

Die Spannkraft der Luft wächst unter zwei Bedingungen: 1) mit Vermehrung des auf sie ausgeübten Druckes, 2) mit der Zunahme ihrer Wärme. Es ist demnach möglich, daß kalte dichte Luft der erwärmten dünneren das Gleichgewicht hält. In einem abgesperrten hohen Zimmer, welches geheizt worden ist, befindet sich oben warme leichte und unten kalte schwere Luft. In der freien Atmosphäre tritt

zwar auch das Bestreben der warmen Luft auf, sich über die kalte zu erheben, aber die an der Erdoberfläche erwärmte Luft kann durch eine wenn auch nur sehr mäßige horizontale Strömung verhindert werden, nach oben zu strömen und ihre Expansivkraft wird durch den Druck und die Strömung der kälteren Luft darüber im Gleichgewichte erhalten.

Aus den angeführten Thatsachen der durch Vermehrung der Wärme vergrößerten Ausdehnung, Leichtigkeit und Spannkraft der Luft beruhen sehr viele gewöhnliche, aber auch praktisch wichtige Erscheinungen.

Erwärmt man die Luft in einem Gefäße mit sehr enger Oeffnung, so wird dadurch ein Theil derselben herausgetrieben; steckt man, nachdem dies geschehen ist, die Mündung unter das Niveau einer Flüssigkeit, so dringt beim Erkalten der Luft von dieser Flüssigkeit in das Gefäß ein, weil die darin gebliebene warme Luft beim Erkalten einen kleineren Raum mit verminderter Druckkraft einnimmt, und somit der Druck der freien Atmosphäre die Flüssigkeit hineinpreßt.

Wird in einem Heronsballe die abgesperrte Luft erwärmt, so treibt die vermehrte Spannkraft die Flüssigkeit heraus.

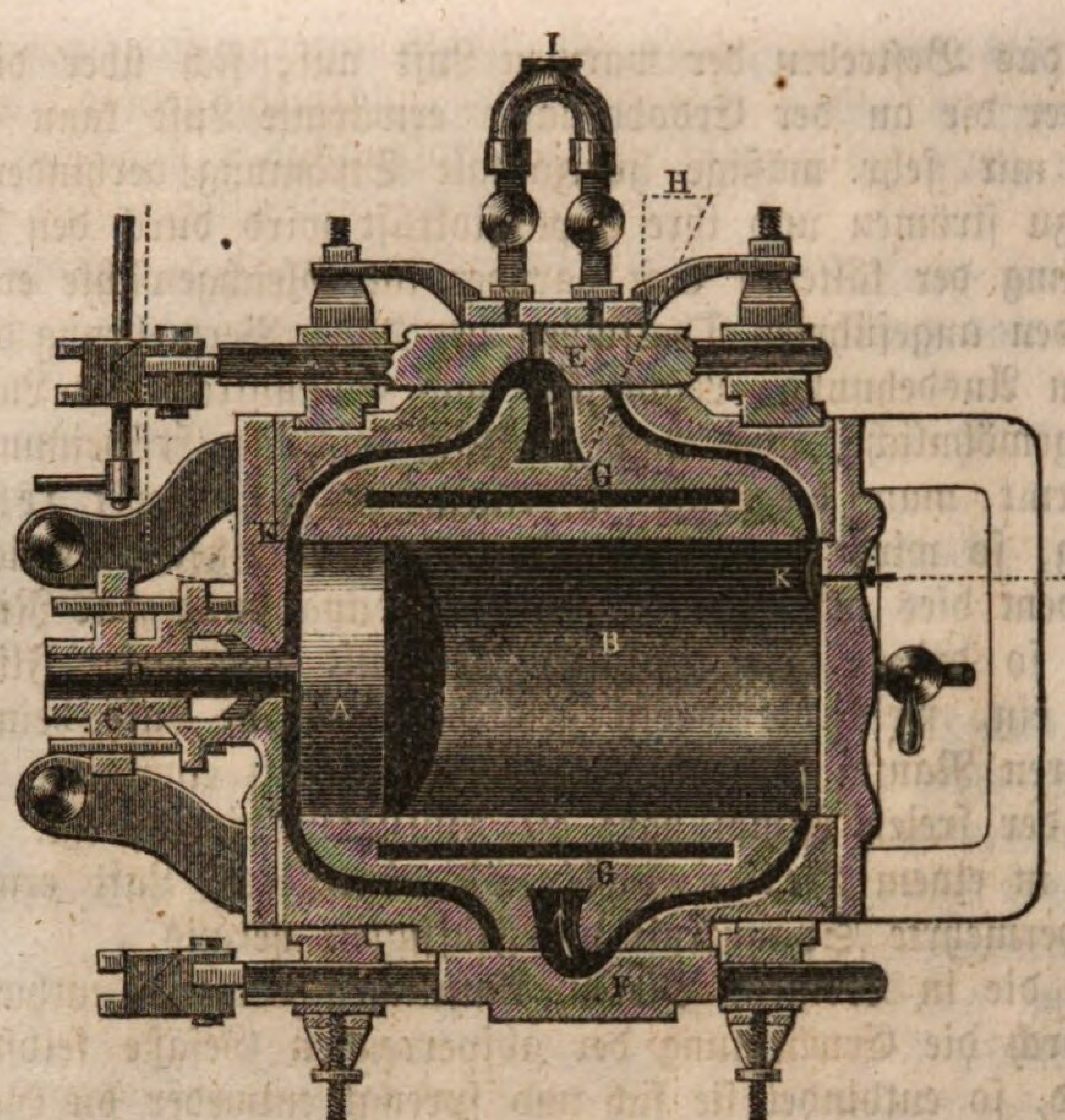
Wenn die in Weinen, Bieren, künstlichen Wassern enthaltene Kohlensäure durch die Erwärmung der absperrenden Gefäße selbst auch erwärmt wird, so entbindet sie sich und sprengt entweder die Gefäße auseinander oder treibt die Korke heraus. Man muß dergleichen Getränke also möglichst kalt halten.

Wie die warme Luft nach oben steigt, kann man an dem warmen Ofen durch eine nebenan gehaltene Flaumfeder erkennen, welche mit in die Höhe geführt wird, oder durch die auf dem Knopfe einer Stecknadel sich drehenden Papierschlangen. — Scheint die Sonne auf Dächer oder im Sommer auf das freie Feld und sieht man parallel über diese Flächen hin, so erkennt man ein fortwährendes Flimmern; denn durch das fortwährende Aufsteigen der warmen und Herabsinken der kalten Luft erscheinen die dahinter befindlichen ruhenden Gegenstände in einer fortwährend zitternden Bewegung.

In den Küchen hat man neuerdings die heiße Zugluft benutzt, um Bratenwender in Bewegung zu setzen.

Die Gaskraftmaschine. (Fig. 351). Wenn aus dem Schießpulver die Pulvergase sich entwickeln, so werden dieselben durch die dabei gleichzeitig entstehende bedeutende Wärme sehr ausgedehnt und zeigen eine sehr bedeutende Druckkraft, wie dies die neuere Kriegskunst ja lehrt. Es ist bisher noch nicht gelungen, diese Kraft zum Betriebe von Maschinen anzuwenden, wohl aber eine ähnliche beim Anzünden des Leuchtgases aus der dabei plötzlich entstehenden großen Hitze sich entwickelnde Kraft. Die Maschinen nennt man Gaskraftmaschinen, obwohl nur Leuchtgas dazu verwendet wird.

Die Figur zeigt einen Zylinderdurchschnitt. Da die Einrichtungen im Einzelnen sehr verschieden sind und wir in diesem Werke auf das



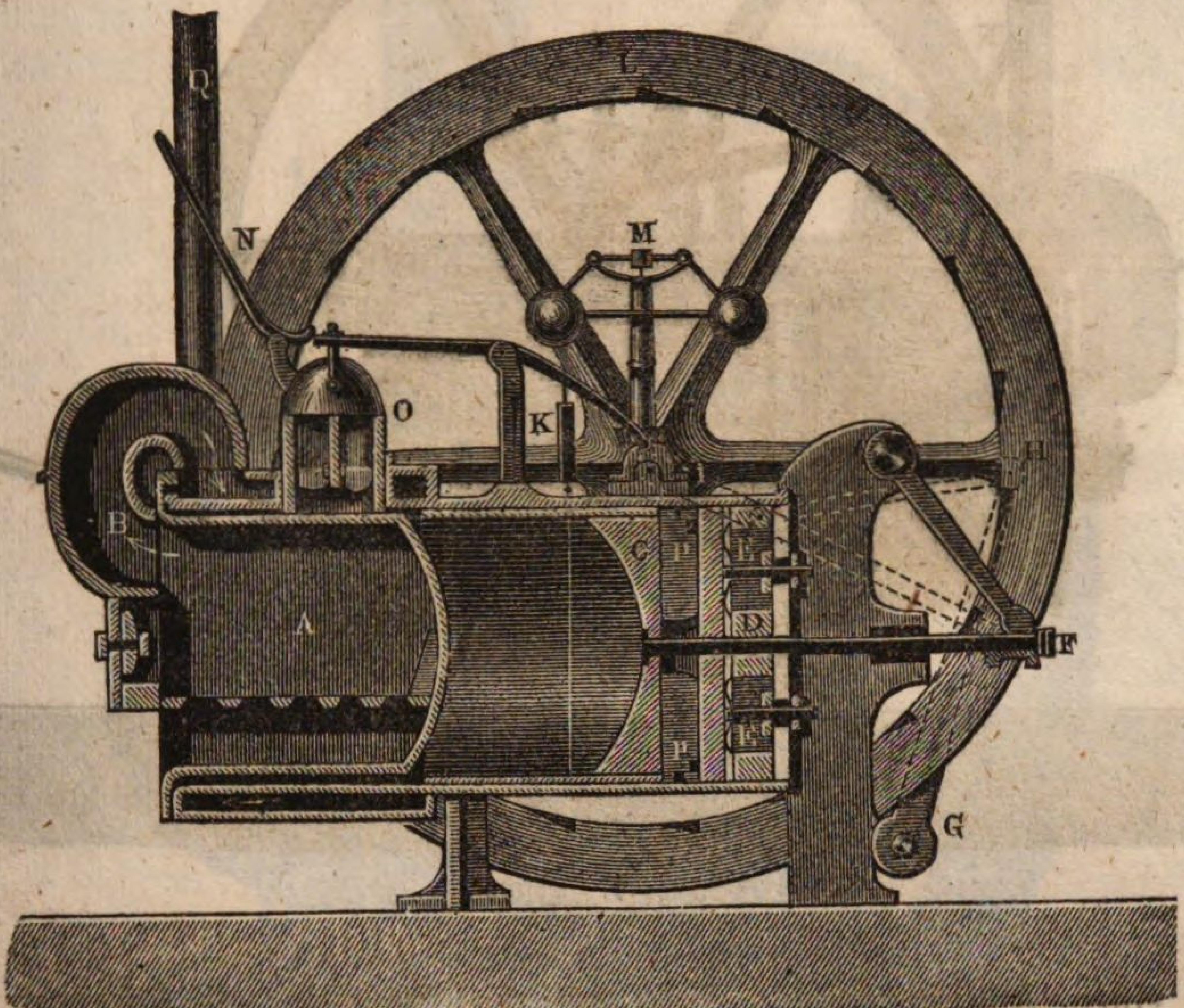
(Fig. 351.)

eigentliche Maschinenwesen nicht näher eingehen können, so möge es genügen, anzuführen, daß das unter dem gewöhnlichen Drucke des Gasometers der Beleuchtungsanstalten befindliche Gas abwechselnd in die beiden durch den Kolben gebildeten Räume des Stiefels geleitet, daß es nach seinem Eintritte dort durch einen kleinen elektrischen Funken entzündet wird, welcher beim Schließen einer galvanischen Kette entsteht und daß der Zylinder, worin der Arbeitskolben sich befindet, durch ihn fortwährend umfließendes Kühlwasser möglichst kalt erhalten werden muß, damit der Unterschied der Temperatur in den beiden Abtheilungen des Stiefels möglichst verschieden sei.

Diese Maschinen gewähren den Vortheil, daß man sie ohne eine besondere Feuerung anlegen zu müssen, überall da aufstellen kann, wo Gas- und Wasserleitungen sind, daß sie wenig Platz einnehmen und einen sehr ruhigen Gang haben. Einer großen Kraftsteigerung sind sie allerdings nicht fähig.

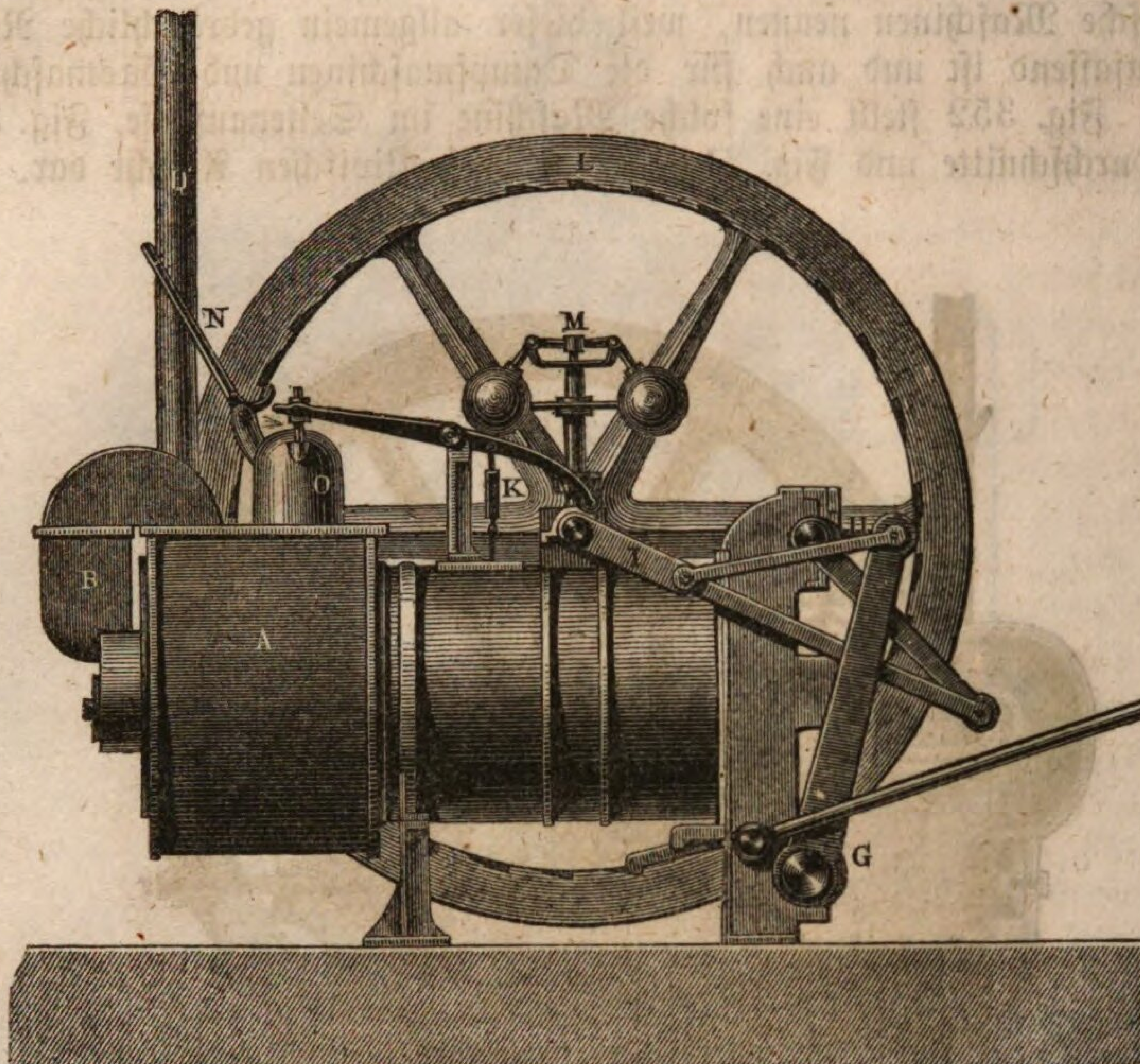
Die kalorischen Maschinen. Auch der Druck, welchen die atmosphärische Luft bei ihrer Erwärmung auf die sie abschließenden Körper ausübt, kann zur Bewegung eines Kolbens in einem Zylinder verwendet werden. Es findet hierbei eine Uebertragung der in den Molekeln der Luft liegenden Schwingungskraft auf die Masse eines Körpers, nämlich des Kolbens, statt: Molekularbewegung wird zu einer Massenbewegung. Man würde die dazu eingerichteten Maschinen ange=

messener Heißluftmaschinen oder allenfalls Luftexpansionsmaschinen als kalorische Maschinen nennen, weil dieser allgemein gebräuchliche Name zu umfassend ist und auch für die Dampfmaschinen und Gasmaschinen paßt. Fig. 352 stellt eine solche Maschine im Seitenaufrisse, Fig. 353 im Durchschnitte und Fig. 354 in der perspektivischen Ansicht dar.



(Fig. 352.)

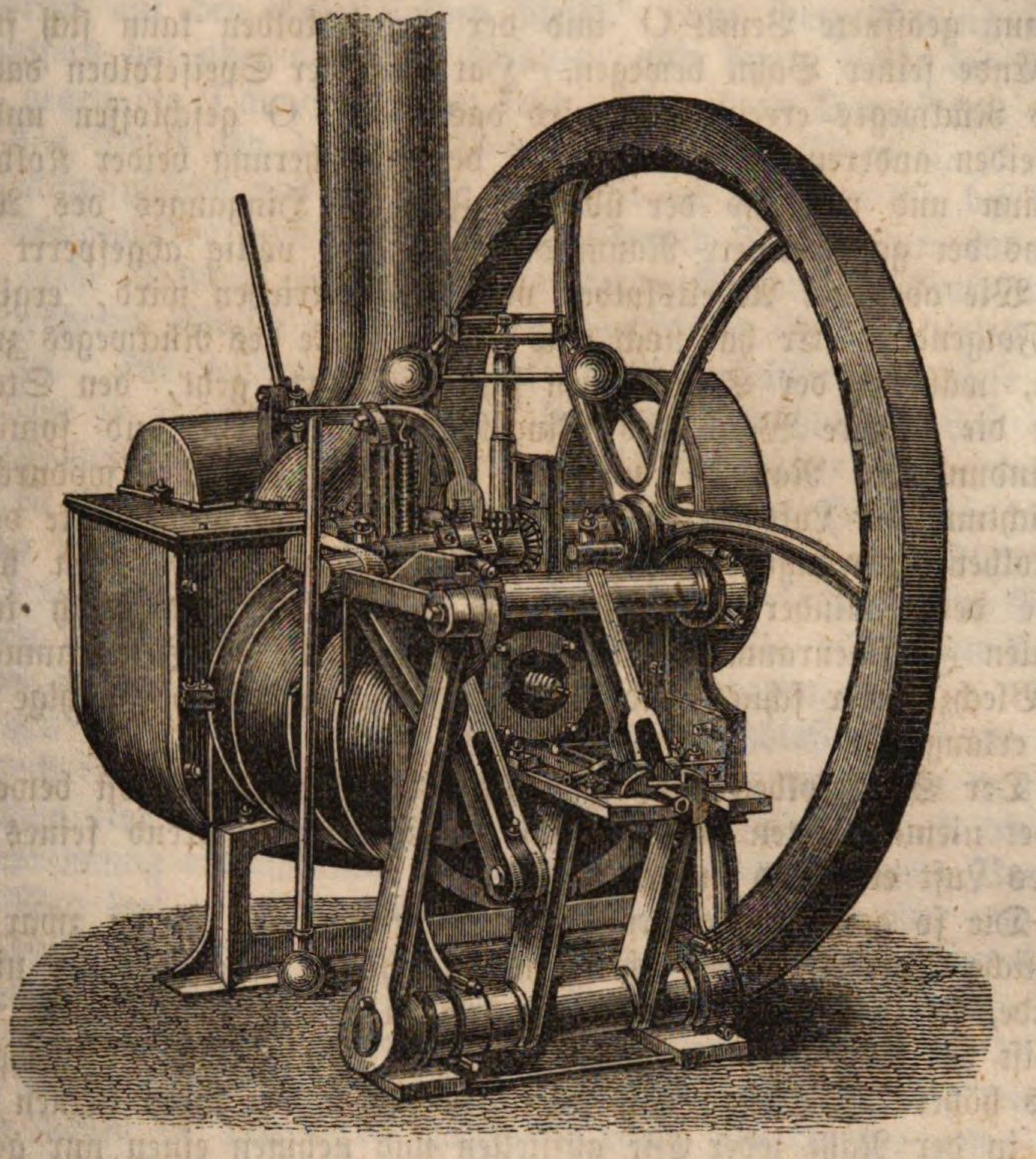
An der hinteren (linken) Seite des Zylinders ist ein Verschluß A von der Form eines in ihm mit dem Boden hineingesteckten Topfes, dessen umgebogener Rand fest mit dem hinteren Rande des Zylinders verbunden ist; in ihm ist die Feuerungsanlage. Die Wärme durchlauft in der Richtung der Pfeile von B aus den hohlzylindrischen Raum und zieht durch die Esse Q ab. Bei O ist ein Ventil, welches beim Niederdrücken des Hebels darüber die äußere Luft mit dem Zylinder in Verbindung bringt; eine Feder bei K erhält durch Herabziehen den Verschluß und ein Daumen an der Axe des Schwungrades L bewirkt die rechtzeitige Hebung des Hebelarmes und somit das Oeffnen des Ventils. An der anderen (rechten) Seite des Zylinders bewegen sich in ihm zwei Kolben hin und her: der äußere EE (Fig. 352) oder der Arbeitskolben schließt sich dicht an die inneren Wände des Zylinders; der innere PP oder der Speisekolben läßt zwischen seinem Umfange und der Zylinder-



(Fig. 353.)

wand einen Zwischenraum. EE hat zwei Ventile, die sich nach innen öffnen, in der Mitte eine Stopfbüchse D, durch welche die Stange des Speisekolbens luftdicht geht. An dem hölzernen von Metall umgebenen Speisekolben, dessen Vordertheil C mit einem möglichst schlechten Leiter ausgefüllt und so gewölbt ist, daß er sich an das gewölbte Ende des Feuerraumes anlegt, schließt sich nach hinten ein Blechmantel, der sich in eine am hinteren Ende des Zylinders befestigte und den Heizraum umgebende Blechröhre schieben läßt. Der Speisekolben trägt einen Stahlring, welcher in einem ringförmigen Einschnitte sich hin und her schieben läßt und dabei an die Innenfläche des Zylinders sich anschließt, wodurch die Verbindung vor und hinter diesem Kolben abgeschnitten oder hergestellt wird, jenachdem er vorn oder hinten sich anlegt, weil für den ersten Fall der Vordertheil des Kolbens am Umfange mehre vertiefte Furchen hat. Geht der Speisekolben vorwärts, so legt der Ring sich hinten an und die Verbindung ist hergestellt; geht er rückwärts, so legt der Ring sich vorn an und die Verbindung ist abgeschnitten. — Die Stange des Speisekolbens wird durch einen Schlitten bei F horizontal geführt; ein ziemlich zusammengesetztes Hebelsystem bringt einen ungleich-

mäßigen Gang der beiden Kolben hervor. — Der Hingang des Arbeitskolbens (nach rechts) findet nur durch den Ueberdruck der heißen Luft über den Atmosphärendruck statt und enthält die Kraftleistung. Ist er soeben am Ende seiner Bahn rechts angekommen, wie es Fig. 354 dar-



(Fig. 354.)

stellt, so würde er stehen bleiben, wenn nicht das schwere Schwungrad, welches noch einseitig etwas vor seinem höchsten Punkte mit einem Uebergewichte belastet ist, die Maschine über den todten Punkt und somit den Arbeitskolben zurück (nach links) führte. Vor dem Beginne des Rückweges hat der Speisekolben sich schon auf den Rückweg begeben und zwischen E und P einen luftverdünnten Raum erzeugt, wodurch die Ventile des Arbeitskolbens sich öffnen und die äußere Luft in den Raum dringt. Aber sowie der Speisekolben seinen Rücklauf beginnt, drückt er den Stahlring gegen die Oeffnungen vorn an seinem Umfange und hebt so die Verbindung vor und hinter sich auf. Hat aber der Speise-

kolben das Ende seiner rückgängigen Bewegung erlangt, bis zu welcher Zeit die Ventile des Arbeitskolbens geöffnet bleiben; so hat der Arbeitskolben noch einen Theil seines Rückweges zu vollenden. Der Speisekolben treibt auf seinem Rückwege die Luft zwischen seiner hohlen Innenfläche, dem Blechmantel und der Außenfläche des Feuerraumes durch das nun geöffnete Ventil O und der Arbeitskolben kann sich frei bis ans Ende seiner Bahn bewegen. Hat aber der Speisekolben das Ende seines Rückweges erreicht, so wird das Ventil O geschlossen und auch die beiden anderen schließen sich bei der Annäherung beider Kolben, so daß nun und während der übrigen Zeit des Hinganges des Arbeitskolbens der ganze innere Raum des Zylinders völlig abgesperrt ist.

Wie aber der Arbeitskolben vorwärts getrieben wird, ergibt sich aus Folgendem. Er hat noch eine kurze Strecke des Rückweges zu vollenden, während der Speisekolben schon vorwärts geht, den Stahlring gegen die hintere Wand des Ringeinschnittes schiebt und somit eine Verbindung des Raumes vor und hinter sich herstellt, wodurch eine Verdichtung der Luft vermieden wird. Die durch die Ventile des Arbeitskolbens gedrungene äußere Luft kann sich also in dem hinteren Theile des Zylinders verbreiten und wird dort, namentlich in dem schmalen Zwischenraume zwischen der Außenfläche des Feuerraumes und dem Blechzylinder schnell und stark erhitzt, so daß sie die nöthige Druckkraft erlangt.

Der Speisekolben wird nur durch die Maschine selbst bewegt, er erleidet niemals einen Luftdruck und dient dazu während seines Rückganges Luft ein- und auszupumpen.

Die so geistreich konstruirten Heizluftmaschinen bieten zwar einige erhebliche Vortheile gegen die Dampfmaschinen dar, sind aber nicht im Stande, sie in ihren Leistungen zu ersetzen. Die Gefahr einer Explosion ist bei ihnen nicht vorhanden, da nur eine geringe Luftmenge eine etwas höhere Spannung hat, sie lassen sich wegen ihres kleinen Feuers leicht in der Nähe jeder Esse aufstellen und nehmen einen nur geringen Raum ein; sie lassen sich in sehr kurzer Zeit ohne lange Vorheizung in Thätigkeit setzen und ohne viel Brennmaterial unnütz zu verwenden auch außer Thätigkeit bringen; die Wärme braucht nicht erst dazu verwendet zu werden, einen tropfbaren Körper (Wasser) in einen luftigen (Dampf) zu verwandeln und diesen noch auszudehnen, sondern die Wärmezuführung vollbringt sofort die mechanische Leistung, so daß gegen 50 Prozent an Feuermaterial erspart wird gegen eine Dampfmaschine von gleicher Leistung. Außerdem arbeiten sie sehr ruhig und die abziehende Wärme läßt sich noch anderweitig benutzen.

Die Leistung dieser Maschinen hängt theils von dem Durchmesser des Arbeitskolbens, theils von dem Grade der Ausdehnung der eingeschlossenen Luft durch die Temperaturerhöhung ab. Da der Ausdehnungskoeffizient der atmosphärischen Luft 0,003665 ist, so nimmt ihr

Volumen bei einer Erwärmung von 0° bis 100° C. nur etwas mehr als ⅓ zu und in demselben Verhältnisse auch ihre Druckkraft; das 2fache Volumen erhält sie erst bei 273° C. und das 3fache bei 545° C., so daß in diesen drei Fällen nur ein innerer Ueberdruck von ⅓, 1 und 2 Atmosphären über den von außen ausgeübten einfachen Atmosphärendruck auf den Arbeitskolben bleibt. Die Vergrößerung seines Durchmessers hat aber auch ihre Gränzen und somit bleibt die Kraftleistung gegen die Dampfmaschinen sehr zurück; denn Dampf von 100° C. hat den Druck von 1 Atmosphäre, zu 121° C. gehören 2, zu 135° schon 3 Atmosphären und so steigt die Kraft bei 190° zu 12, bei 265° zu 50 Atmosphären, weil sich bei wachsender Temperatur aus dem Wasser mehr Dämpfe entwickeln und deren Schwingungskraft theils wegen größerer Masse, theils wegen wachsender Geschwindigkeit eine größere ist. Für Leistungen von 1 bis 2 Pferdekräften sind diese Maschinen sehr zu empfehlen und wenn statt der gewöhnlichen Luft durch eine Hilfsmaschine oder auf andere Weise verdichtete Luft erwärmt würde, so ließe der Erfolg sich bedeutend steigern. Hätte die atmosphärische Luft ohne Verdichtung bei ihrer Erwärmung eine Spannung von 2 Atmosphären, so würde sie bei dreifacher Verdichtung eine Spannung von 3 . 2 = 6 Atmosphären, in jenem Falle also einen Ueberdruck von nur 1, in diesem von 5 Atmosphären haben.

Schornsteine oder Essen. Wenn man abgeschlossene Räume nicht etwa durch Leuchtgas, sondern durch eine Feuerung erwärmen will, so bedarf man eine mit dem Feuer in Verbindung stehende und die aus der Verbrennung entstandenen Produkte nach außen ableitende Vorrichtung. Man legt zu diesem Zwecke entweder vom Feuer oder von den Abzugröhren der Oefen aus in den Mauern Kanäle mit quadratischem oder kreisförmigem Durchschnitte an und führt dieselben bis über die Forsten der Gebäude in lothrechter Richtung fort. Sind sie 16 bis 20 Zoll weit, damit ein Mensch in dieselben steigen und sie reinigen kann, so heißen sie deutsche, haben sie einen Durchmesser von 6 bis 12 Zoll, so sind es russische, welche man durch Kugeln mit Besen reinigt. Erfahrungsmäßig genügen 6 Zoll Durchmesser zu 2, 7″ zu 3, 8″ zu 4, 9″ zu 5 bis 6 Ofenfeuerungen. Besser aber ist es, für jede Ofenfeuerung einen besonderen Kanal anzulegen. Für ein Küchenfeuer genügen 8 bis 9″ Weite. Die Beschaffenheit und Menge des zu verbrauchenden Brennmateriales ist hierbei zu berücksichtigen.

Brennt ein Feuer offen, so erwärmt es die Luft ringsum und dehnt sie aus. Dadurch wird zwar ein Steigen veranlaßt, aber da sehr bald eine ziemlich bedeutende Abkühlung eintritt, so wird die Geschwindigkeit bald bedeutend geringer und daher ist auch der Zufluß frischer Luft an der Feuerstätte ein ziemlich schwacher. Ist aber über dem Feuer eine Röhre aus schlecht leitendem Materiale, so wird dadurch die aufsteigende Wärme zusammengehalten und es erfolgt in derselben

Höhe noch ein schnelleres Steigen, also muß unten auch ein schnellerer Zufluß stattfinden, welcher eine lebhaftere Verbrennung erzeugt. Da dessen ungeachtet im Rohre nach oben eine Abkühlung eintritt, welche mit einer Raumverminderung verbunden ist, so muß der Schornstein nach oben sich angemessen verengen, weil bei gleichmäßiger Weite die äußere Luft in den Schornstein fallen würde, um die Raumverminderung auszugleichen. Durch die herabfallende Luft würde der Zug vermindert oder aufgehoben.

Der Zug wird in einem Schornsteine um so lebhafter sein, je wärmer, höher und enger er ist, weil die Luftströmung in ihm von dem Unterschiede des Gewichtes oder Druckes der äußeren Luft über den der inneren an der Mündung des Rohres abhängt. Warm werden die Essen erhalten, wenn sie aus einem schlecht leitenden Materiale bestehen (in eisernen setzt sich überdies leicht Glanzruß an), wenn sie nicht in den äußeren der Abkühlung leicht ausgesetzten Umfassungsmauern eines Gebäudes, sondern im Inneren angelegt und nicht sehr weit sind; daß aber die vergrößerte Höhe das Ziehen befördert, ist leicht einzusehen. Wenn die Luft in einer bestimmten Röhre 1 Pfund wiegt und die Temperatur der äußeren Luft hat, so ist Gleichgewicht vorhanden. Würde die Luft im Rohre durch das Feuer um das Doppelte ausgedehnt, so wiegt die in ihm noch befindliche nur noch ½ Pfund und die äußere drückt an der nnteren Mündung mit dem Ueberschusse von einem halben Pfunde. Wäre die Röhre doppelt so lang und die Luft darin in gleichem Grade ausgedehnt, so wäre ihr Gewicht 1 Pfund, das der ebenso langen äußeren Luftsäule aber 2 Pfund, folglich der Ueberdruck an der unteren Mündung jetzt ein ganzes Pfund und somit die Geschwindigkeit des aufsteigenden Luftstromes eine größere. Da nun zum lebhaften Brennen eine gewisse, weder allzugroße noch allzugeringe Geschwindigkeit der Luftströmung gehört, so läßt sich für einen gewissen Temperaturunterschied die nöthige Höhe des Schornsteines berechnen. Je niedriger die Temperatur der äußeren Luft ist, desto lebhafter ziehen die Schornsteine, welche übrigens zur Verminderung der Reibung im Inneren möglichst glatt, wenn auch nur schwach geputzt sein müssen.

Da die Luft bei 100° C. Wärme nur 0,727 von der bei 0° wiegt, so gehört zur Herstellung des Gleichgewichtes mit der äußeren Luft von 0° für einen Schornstein von 100 Fuß Höhe eine äußere Luftsäule von 72,7 Fuß. Ist also der Schornstein um 100 — 72,7 = 27,3′ kürzer, so ist die Ausflußgeschwindigkeit noch 44 Fuß.

Die folgende Tabelle gibt die für jeden Fall passende Weite und Höhe eines gut ziehenden Schornsteines an.

Stündlich verbrannt. Steinkohlen.	Holz.	Höhe.	Weite, obere. quadr.	rund.	Weite, untere. quadr.	rund.	Mauerdicke. untere.	obere.
Kilogramm.			Meter.				Zentimeter.	
10	20	10	0,24	0,27	0,36	0,40	33	
20	40	13	0,32	0,36	0,48	0,54	38	
30	60	15	0,38	0,43	0,57	0,63	41	
40	80	17	0,43	0,48	0,64	0,72	44	
50	100	18	0,47	0,53	0,70	0,80	45	
75	150	20	0,55	0,62	0,82	0,91	48	
100	200	22	0,62	0,70	0,93	1,05	51	
150	300	26	0,73	0,83	1,00	1,24	57	
200	400	28	0,83	0,93	1,25	1,39	60	18
250	500	30	0,91	1,03	1,36	1,54	63	
300	600	31	0,98	1,11	1,47	1,67	65	
350	700	32	1,05	1,19	1,57	1,78	66	
400	800	33	1,11	1,26	1,66	1,89	68	
450	900	34	1,17	1,33	1,75	2,00	69	
500	1000	34	1,23	1,39	1,84	2,09	69	
550	1100	35	1,29	1,45	1,93	2,18	71	
600	1200	35	1,34	1,51	2,01	2,27	71	

Jedenfalls sind die Schornsteine höher anzulegen, als die Forsten der zugehörigen oder unmittelbar daran gränzenden Häuser; denn ist dieses nicht der Fall, so schlägt die Luft bei solchen Winden, welche sich an die höheren Gegenstände stoßen und einen zurückgehenden Wirbel bilden, in die Schornsteine und verhindert das Aufsteigen des Luftstromes oder gibt ihm sogar eine abwärts gehende Bewegung, so daß das Feuer nicht brennt oder einen zurückdringenden Rauch erzeugt. Die Essenköpfe oder Hauben schützen dagegen nicht immer und nur dann, wenn der Rauch in einer beweglichen Haube mit Windfahne nach der Richtung abziehen kann, in welcher der Wind, selbst auch der zurückgeworfene, geht.

Luftheizung. Man hat die Wärme, welche in der durch eine Feuerstätte ausgedehnten und leichter gewordenen Luft vorhanden ist und beim Aufwärtssteigen derselben mit fortgeführt wird, benutzt, um bewohnte und überhaupt abgeschlossene Räume zu beheizen, ohne daß in ihnen besondere Feuerungen eingerichtet werden. Man hat nämlich in

dem Keller des Gebäudes einen einzigen Ofen, welcher zur Ersparung des Feuerungsmateriales eine möglichst vollkommene Einrichtung haben muß. Dieser ist mit einem starken gemauerten Mantel umgeben, welcher ganz unten einige Oeffnungen und oben Abzugskanäle hat, welche in dem Mauerwerke des Gebäudes bis unmittelbar über die Fußböden der einzelnen Räume führen und dort durch drehbare Scheiben oder Schieber abgesperrt werden können.

Beim Feuern wird die Luft zwischen dem Ofen und Mantel erwärmt und ausgedehnt und steigt daher durch die Abzugsröhren in die oberen Räume, welche sie erwärmt; der Abgang der Luft aus dem Mantelraume wird ersetzt durch den Zufluß kalter Luft von unten, welche auch erwärmt wird, um dann dasselbe zu leisten. Dieser Zu- und Abfluß währet so lange, als noch ein Unterschied in der Temperatur der abgesperrten und der äußeren Luft stattfindet und die Spannkraft der oberen durch den Druck der unteren übertroffen wird. Sind die oberen Räume hinreichend warm, so werden die Mündungen der Zuflußröhren abgesperrt. Man kann auch die Wärme in dem Heizapparate durch Schließung der Zuflußöffnungen zusammenhalten. Die Abzugsröhren müssen gegen Abkühlung möglichst geschützt sein.

So vortheilhaft diese Art der Luftheizung in vielen Beziehungen auch ist, so treten doch erhebliche Bedenken gegen sie auf. Die Erfahrung hat nämlich gelehrt, daß das Einathmen der Luft, welche bei der Bewegung an glühenden Körpern erwärmt worden ist, der Gesundheit selbst dann noch nachtheilig wird, wenn sie auch kühler geworden ist; denn sie befördert Lungenkrankheiten, Schwindsucht und erzeugt Nervenaufregung. Man hat dieses von ihrer Trockenheit herleiten wollen; nämlich die in den Mantel strömende kalte Luft enthält verhältnißig wenige Feuchtigkeit und da diese Luft nach ihrer Erwärmung fähig ist, weit mehr Wasser in Dampfgestalt in sich zu führen, eine Vermehrung desselben aber nicht stattgefunden hat, so ist sie relativ trocken und die trockene Luft schadet namentlich den Brustkranken. Diesem Uebelstande wird durch das Aufstellen oder Aufhängen von Gefäßen mit Wasser in nur sehr unvollkommener Weise abgeholfen, weil die Verdünstung langsam vor sich geht und weil die warmen Dünste in der oberen warmen Luft bleiben. Weit besser wäre es, die warme Luft an der Mündung der Kanäle oder schon früher mit Wasser getränkte Schwämme u. dergl. durchstreichen zu lassen. Es scheint aber überhaupt die warme Luft, welche sich nach einer bedeutenden Reibung an festen Gegenständen in die Wohnungen begibt, in einem elektrischen Zustande zu sein, welcher auf die Nerven nachtheilig einwirkt. Man hat in dieser Beziehung in Nordamerika, namentlich in New-York, wo die Luftheizung einen hohen Grad der Ausbildung erreicht hat, die auffallendsten Beobachtungen gemacht. Geht man durch Stuben, welche durch Luft erwärmt sind, die an gußeisernen Heizapparaten sich hinbewegt hat, mit schleifenden Füßen auf den

Teppichen hin und her, so wird der Körper so elektrisch, daß aus allen Theilen desselben elektrische Funken gezogen werden können. Wie sehr erregend aber Elektrizität auf die Nerven wirkt, ist eine bekannte Sache.

Luftheizung durch Zirkulation. Sowohl bei der Heizung durch die gewöhnlichen Stubenöfen, als auch durch Wasser, Luft und, wie wir später angeben werden, durch Dampf, ist ein bisher viel zu wenig gewürdigter Uebelstand vorhanden, auf dessen Beseitigung man dringend bedachtnehmen sollte; nämlich, wir genießen von der hervorgebrachten Wärme in unseren Stuben nur einen ziemlich kleinen Antheil, weil die höchste Temperatur stets an der Decke der Zimmer, während es an dem Fußboden am kältesten ist. Der Unterschied der Wärme an beiden Orten ist im Winter oft sehr bedeutend, nämlich meistens über 10° R., vorzüglich wenn unterhalb gar nicht geheizt wird. Man müßte also darauf denken, diese Wärme herabzubringen und nutzbar zu machen.

Ich habe einen Stubenofen konstruirt, welcher außer anderen Vortheilen (Rauchverbrennung, vollkommene Ausnutzung des Brennmateriales, Vermeidung der Lebensgefahr durch Ersticken, Erzeugung der gewünschten gleichmäßigen Feuchtigkeit) vermittelst eines durchgehenden Zirkulationsrohres in einem 25 Fuß hohen Raume von etwa 5000 Kubikfuß Inhalt die Temperatur bis auf $\frac{1}{2}$° R. Unterschied an der Decke und Diele ausglich.

Eine Luftabkühlung durch Zirkulation läßt sich dann hervorbringen, wenn man von einem kalten Raume, z. B. einem benachbarten Eiskeller eine unten liegende Verbindung, welche für entfernte Räume mit schlechten Leitern umgeben sein muß, herstellte und einen Abzug der warmen Luft, z. B. aus einem Bierkeller, von oben bewirkt. Dann füllt sich der warme Raum nach und nach mit kalter Luft. — Dasselbe Prinzip sollte bei den Eisschränken angewendet werden. Man müßte in ihnen zwei gesonderte Abtheilungen nebeneinander, die eine für die Speisen, die andere für das Eis und in der Zwischenwand unten und oben kleine Oeffnungen anbringen. Ist die Abkühlung hinreichend, so verschließt man von außen durch einen Schieber die oberen Oeffnungen und spart so an Eis.

Ventilation. Soll die Luft in Räumen, worin viele Menschen (auch Thiere) eine längere Zeit oder dauernd ihren Aufenthalt haben, zum Athmen tauglich bleiben, so muß stets für den Zufluß gesunder und den Abfluß der verunreinigten Luft gesorgt werden. Weil die ausgeathmete Luft und auch die entstehende Ausdünstung des Körpers stets wärmer sind, als die umgebende Luft, so steigen sie in die Höhe und müssen aus den oberen Theilen des Raumes durch Röhren, welche auch abgesperrt werden können, ins Freie oder in Schornsteinkanäle gelassen, oder auch zur Speisung eines Feuers verwendet werden, was wegen ihrer Wärme vortheilhaft ist. Bei den Luftheizungen sorgt man dafür, daß die einströmende Luft selbst rein ist, bei den anderen Beheizungs-

methoden muß man auf besondere Zuleitung gesunder Luft bedacht sein. Gewöhnlich ist es hinreichend, den Zufluß blos durch die Ritzen der Thüren und Fenster stattfinden zu lassen.

Winde.

Wenn von zwei nebeneinander liegenden Zimmern nur das eine geheizt worden ist und man öffnet die Verbindungsthüre, so entsteht in derselben eine doppelte Luftströmung: unten geht die kalte Luft in die warme Stube, oben die warme Luft in die kalte Stube, wie man an den Flammen zweier dahin gebrachten Lichter leicht erkennen kann, bis endlich in beiden Räumen das Gleichgewicht hergestellt ist. Solche Luftströmungen finden unter allen Umständen statt, wenn irgendwie an einem Orte eines zusammenhängenden Raumes das Wärmegleichgewicht gestört oder ein Temperaturunterschied hervorgebracht worden ist; finden sie in der freien Atmosphäre statt, so nennt man sie Winde und ist ihre Geschwindigkeit bedeutend (40—60′), so heißen sie Stürme und bei noch größerer Orkane.

Wenn eine große Feuersbrunst entsteht, so bildet sich über ihr und zunächst um sie ein aufsteigender warmer Luftstrom und daher muß selbst nach vorangegangener Windstille rings um das Feuer ein nach demselben wehender Wind entstehen, theils um das Brennen zu unterhalten, theils um die verzehrte und die in die Höhe gestiegene Luft wieder zu ersetzen.

Auf ähnliche Weise findet sich, namentlich im Sommer bei Sonnenschein, Wind in großen Städten und eine damit verbundene Staubaufregung ein. Die Temperatur ist in volkreichen großen Städten theils wegen der vielen Menschen und Thiere, theils wegen der vielen Feuerstätten der verschiedensten Art, theils wegen der Entwickelung der Wärme durch die Sonne an den Gebäuden oft eine namhaft höhere, als in etwas größerer Entfernung von ihnen; es muß also über ihnen ein aufsteigender Luftstrom entstehen (wenn nicht etwa durch anhaltend trübe regnerische Witterung die Temperatur auf weite Strecken eine gleichmäßige ist) und daher rings umher ein nach ihnen wehender Wind.

Auch wenn irgendwo eine plötzliche Abkühlung der Luft eintritt, muß ein Wind entstehen, wie wenn im heißen Sommer vor die Sonne eine dichte Wolke tritt, in deren Schatten die Luft sich abkühlt. Die kälter gewordene Luft nimmt einen kleineren Raum ein und daher muß von allen Seiten eine Strömung nach der beschatteten Stelle eintreten.

Hierher gehören auch die Gewitterstürme. Wenn wie gewöhnlich vor dem Ausbruche eines Gewitters eine sehr hohe Temperatur stattfindet, so tritt theils durch die häufig sehr rasch sich bildenden dichten Gewitterwolken, theils durch die elektrischen Entladungen eine recht bedeutende örtliche Abkühlung und deshalb ein heftiges Zuströmen der Luft von allen Seiten ein, wodurch sich aufwärts gerichtete Wirbel bilden, welche den Staub oft in bedeutender Menge mit sich fortführen.

Horizontal fortschreitende Wirbel nennt man Windhosen, welche durch seitliche Gegenströme entstehen und bei ihrer oft sehr großen Drehungsgeschwindigkeit bedeutende Verheerungen anrichten. Sind sie, wie häufig, mit elektrischen Entladungen verbunden, so nennt man sie Wettersäulen; bilden sie sich über Gewässern, so nehmen sie Wasser und darin lebende Thiere (kleine Fische, Frösche) in sich auf, führen bisweilen Alles bis weit über das Land mit sich fort und heißen dann Wasserhosen, welche bei ihrem Vergehen einen sogen. Fischregen, Froschregen u. dergl. geben.

Land- und Seewinde. Verschiedene gleichzeitig von der Sonne unter demselben Winkel beschienene Gegenstände erlangen je nach ihrer Beschaffenheit in derselben Zeit eine ungleiche Temperatur: der schwarze Basalt wird wärmer, als der weiße Marmor, das Festland wärmer, als das Wasser. Denken wir uns eine einzeln liegende Insel, so wird sie am Tage und namentlich bei Sonnenschein wärmer sein, als das sie umgebende Meerwasser, welches die Sonnenstrahlen von seinem Spiegel theilweise zurückwirft und an sich ein schlechter Wärmeleiter ist; die Luft über der Insel wird daher mehr ausgedehnt, als über dem Wasser, sie steigt also dort wegen ihrer größeren Leichtigkeit aufwärts und der Abgang wird durch einen Zufluß vom Meere aus ersetzt: es entsteht am Tage ein Seewind, welcher abkühlend auf das Inselland wirkt. — Nach Sonnenuntergang kühlt das Land, namentlich bei heiterem Himmel, durch Wärmeausstrahlung schneller ab, als das schlechter leitende Wasser, bei welchem überdies die an der Oberfläche abgekühlten Theilchen herabsinken, um aufsteigenden wärmeren Platz zu machen; die Luft über dem Wasser ist also in der Nacht wärmer, als die über dem Lande und muß dort aufwärts steigen, was einen vom Lande nach dem Wasser wehenden Wind, einen Landwind, zur Folge hat. — Dieselben Umstände treten auch an den Meeresküsten jedes Festlandes ein, aber diese Winde sind in größeren Entfernungen von der Küste nicht mehr wahrzunehmen; auch sie tragen zur Erzeugung des Seeklimas (Bd. II., S. 118) bei.

Passatwinde. Die großartigsten Luftströmungen werden aber durch den Stand der Sonne in den verschiedenen Jahreszeiten in Beziehung auf den ganzen Erdkörper erzeugt. Der Erdäquator wird während eines Jahres mittags um 12 Uhr zweimal lothrecht beschienen (zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche) und während der übrigen Zeit des Jahres entfernt sich die Sonne höchstens 22½° vom Scheitelpunkte des Aequatorialbewohners und zwar wenn sie in den Wendekreisen steht. Die ganze Zone zwischen den beiden Wendekreisen ist also fortwährend einer bedeutenden Erwärmung ausgesetzt und heißt deshalb die heiße. Die Luft über ihr ist stets aufgelockert und steigt aufwärts, und zwar da am meisten, wo die Sonne am höchsten über dem Horizonte steht. Nach der Gegend des aufsteigenden Stromes muß die Luft an der Erd-

oberfläche von beiden Seiten, also von den beiden Polen her, zuströmen. Znm Ersatze dieser von beiden Halbkugeln nach der heißen Region unten abfließenden Luft, wandert der aufgestiegene warme Strom in zwei Zweigen oben nach den beiden Halbkugeln, indem er beim Steigen und bei seiner Wanderung über kältere Zonen der Erde sich abkühlt und sich dann herabsenkt. — Auf diese Weise entstehen zwei großartige Wirbel in der Atmosphäre mit horizontalen Bewegungen in dem größten Theile ihrer Bahn. Die Stellen, in denen die Ströme aufsteigen und herabfallen, also die Gränzen der Wirbel, wandern mit dem Stande der Sonne von dem Aequator weg nach den beiden Seiten desselben; der aufsteigende bleibt ziemlich in den Gränzen der heißen Zone. In unserem Winter kommt der obere Strom der nördlichen Halbkugel bei einer geringeren geographischen Breite (z. B. an der Nordküste Afrikas) herab, als im Sommer (in Deutschland).

Es ist schon Bd. I., S. 363, entwickelt worden, daß diese Winde wegen der Axendrehung der Erde nicht reine Nord- und Südwinde bleiben können, die sie ohne die Drehung wären, sondern daß in der nördlichen Halbkugel aus dem unten strömenden Nord- ein Nordostwind, aus dem oben wehenden Süd- ein Südwestwind und daß in der südlichen Halbkugel aus dem unten vorhandenen Süd- ein Südostwind, aus dem oben gehenden Nord- (vom Aequator kommend) ein Nordwestwind wird. Diese Umwandlung der Windrichtung ist ein offenbarer Beweis für die Axendrehung der Erde. Je schneller die unteren Winde wehen, desto mehr werden sie zu östlichen, weil sie um so eher über Orte der Erdoberfläche kommen, welche eine schnellere Drehungsgeschwindigkeit nach Osten haben, so daß die Winde um so mehr nach Westen zurückbleiben und von Osten her wehen.

Da die Erdoberfläche nicht eine überall gleiche Beschaffenheit besitzt, indem nicht nur Land und Wasser in oft sehr zerrissenen Formen abwechseln, sondern auch das Festland theils wegen seiner verschiedenen Erhebung über den Meeresspiegel, theils wegen der Bodennatur die Wärme in einem sehr verschiedenen Grade entwickelt; so kann die Richtung der Passate nicht überall in der angegebenen Reinheit hervortreten. Am meisten geschieht dies über dem stillen Ozeane etwa 50 Meilen vom Festlande entfernt. Wo ausgedehnte Sandwüsten sind, wie die Sahara, findet ein fast fortwährend aufsteigender Strom und deshalb westlich davon an der Küste Afrikas meist ein Westwind statt.

Die Moussoons oder Monsume sind zwar auch regelmäßige Winde wie die Passate, sind aber nur zum Theil den Land- und Seewinden zu vergleichen. Es weht nämlich in Ostindien während des Sommers der nördlichen Halbkugel ein Seewind, während des Winters ein Landwind. Dies rührt davon her, daß dort Land und Wasser nach Parallelkreisen vertheilt und im Sommer jenes, im Winter dieses wärmere Luft über sich hat. Da aber der Seewind vom Aequator aus

nach Norden geht und somit in Breiten mit geringerer Drehungsgeschwindigkeit kommt, also den Orten, über welche er weht, nach Osten vorauseilt oder von Westen zu kommen scheint; so wird er nicht ein Südwind bleiben, sondern ein Südwestwind werden. Der Landwind ist ein nordöstlicher. Der Wechsel dieser Winde ist also so ziemlich ein halbjähriger.

Die Auflockerung der Luft Inner-Asiens im Sommer erzeugt den Europa abkühlenden Nordwest-, in Sibirien den Nord-, an der Ostküste der alten Welt den Ostwind. — In der Nähe der Kältepole der Erde sind die Winde aus allen Richtungen wärmere und Windstille gibt die größte Kälte.

Unregelmäßige Winde. Die außerordentlich mannigfaltige Vertheilung von Land und Wasser und die verschiedene Richtung und Höhe der Gebirgsstöcke und Züge, in Verbindung mit der Erzeugung und Vernichtung der in der Luft vorhandenen Wasserdünste bringt in den Richtungen der Winde, namentlich in den gemäßigten Zonen, große Abwechselungen hervor. In Europa und dem westlichen Asien werden die Passate, weil westlich Meere liegen, durch die Landseewinde, welche für sich unten in den kälteren Monaten östliche, in den wärmeren westliche und oben die entgegengesetzten sein müßten, in der Art abgeändert, daß im Winter der untere Polarstrom mehr nach Osten, der obere Südstrom mehr nach Westen, im Sommer aber der erstere mehr nach Westen, der letztere mehr nach Osten abgelenkt wird. Für Deutschland liegt die überwiegende Anzahl von mittleren Windrichtungen zwischen Süd und West, was sich aus der Axendrehung der Erde und dem Herabsinken des oberen etwa 2,4 Fuß für die Sekunde schnelleren Passates erklärt.

Ungeachtet aller scheinbaren Unregelmäßigkeiten, zeigt sich doch ein allgemeines Drehungsgesetz des Windes: wird in der nördlichen Halbkugel der Südstrom durch den Nordstrom verdrängt, so geht der Wind von Süd durch West nach Nord; weicht dagegen der Nordstrom dem Südstrome, so geht der Wind von Nord durch Ost nach Süd. In der südlichen Halbkugel ist die Drehungsrichtung umgekehrt.

Die Kalmen. Unter etwa 30° nördlicher und südlicher Breite ist der Luftdruck am größten und von da nach dem Aequator hin die Doppelströmung der Passate am lebhaftesten; je näher die Luft aber dem Aequator kommt, desto mehr wird sie aufgelockert, zu steigen veranlaßt und dadurch ihre Geschwindigkeit vermindert. Es bildet sich daher eine Zone von etwa 6° Breite, in welcher aus dem Nordost- und Südost-Passate ein Ostwind wird, welcher in eine Windstille übergeht und dieses ist die Region der Kalmen, worin sich die heftigsten Gewitter mit Stürmen fast täglich nachmittags bilden. Diese Region der größten Auflockerung bewegt sich im Laufe eines Jahres pendelartig zu beiden Seiten des Aequators hin und her.

Die Aequinoktialstürme. Da um die Zeit der Aequinoktien oder Tag- und Nachtgleiche die größte Auflockerung der Atmosphäre in der Nähe des Aequators stattfindet und weil dort die aus der Axendrehung der Erde entstehende Schwungkraft am größten ist, so muß der aufsteigende Luftstrom seine größte Geschwindigkeit erlangen. Je schneller aber an der Erdoberfläche der Abfluß nach oben stattfindet, desto schneller muß der Zufluß von beiden Halbkugeln nach dem Aequator und der Ersatz dieses Zuflusses durch den herabfallenden Strom geschehen. Der letztere Umstand ist es, welcher in den gemäßigten Zonen die stürmischen Aequinoktialwinde erzeugt.

Schädliche Winde. So wie die Bewegungen des Wassermeeres, so sind auch die des Luftmeeres von unendlichem Vortheile, denn ohne dieselben würden die Zersetzungsprodukte der abgestorbenen zahllosen organischen Körper Wasser und Luft verpesten und alles noch vorhandene Leben vernichten. Die aus Gewässern durch die Wärme entwickelten Dünste würden nur über diesen Gewässern bleiben, ohne daß sich weder hier noch anderwärts die zum organischen Leben der Erde so unbedingt nothwendigen Niederschläge bilden könnten, da eine Mischung kalter und warmer Luft nicht stattfinden würde. Die Winde sind also im Allgemeinen zu einem gedeihlichen Leben unbedingt erforderlich.

Es gibt aber auch örtliche Verhältnisse, welche die Luft ganzer Länderstriche in einen für die Gesundheit nachtheiligen Zustand versetzen, so daß die aus solchen Gegenden wehenden Winde auf weite Strecken hin ungesund sind. Dahin gehören die Winde, welche aus Gegenden mit weit ausgedehnten stehenden Gewässern wehen, worin faulende organische Körper sich befinden und schädliche Luftarten sich entwickeln. In Italien waren vonjeher die Pontinischen Sümpfe in dieser Beziehung berüchtigt. Eine andere und viel umfangreichere Veranlassung zu schädlichen Winden geben weit ausgedehnte, wasser- und baumarme Sandwüsten in der heißen Zone oder deren Nähe. Hier entwickelt die Sonne im Sande eine furchtbare Gluth, die Luft darüber wird heiß, steigt zu bedeutenden Höhen empor, nimmt von dem feinen Staube eine große Menge mit und ist wegen des Mangels aller Gewässer auf weite Strecken außerordentlich trocken.

Wohin nun diese Winde wehen und wo sie sich auf die Erdoberfläche herabsenken, bringen sie nachtheilige Wirkungen hervor. Die lebende Pflanzenwelt vertrocknet, indem die Hitze oft bis zu 50° C. steigt, sehr bald, das Athmen der glühend heißen Luft wird den Menschen und Thieren höchst lästig, man hat bald das Gefühl eines brennenden Durstes und obwohl man in der ungemein trockenen Luft stark ausdünstet, hat man doch eine ganz unangenehm trockene Haut, weil hervordringende Feuchtigkeit bei ihrem Entstehen sofort verschwindet. Diese Winde wehen nicht bis dicht an den Erdboden, weshalb sich Wüstenreisende auf die Erde werfen, indem sie den Körper möglichst

bedecken. Man hört schon vonweitem ein Brausen, der in die Höhe geführte Staub gibt der Luft ein gelbliches oder röthliches Ansehen und er ist bisweilen so dicht, daß man kaum einige Schritte vor sich sehen kann und die Sonne verdunkelt wird.

Der Wüstenstaub wird sehr weit in der Atmosphäre fortgeführt. Schiffe, mitten auf dem Atlantischen Ozeane, sind bei Regenwetter von ihm überzogen worden und ich selbst habe einmal im Januar bei völlig schneebedeckter Gegend im Regenmesser afrikanischen Wüstenstaub in Menge gefunden. Die ägyptische Augenkrankheit rührt von dem Wüstenstaube her.

In der alten Welt sind es die Wüsten Zentralasiens, des steinigten Arabiens und die Sahara im Innern Afrikas, welche diese Winde erzeugen. An der Westküste Afrikas, namentlich in Senegambien, heißt der Wind Harmattan, welcher einen bräunlichen Staub mit sich führt; in Spanien macht er sich als Salano bemerklich; in Sizilien und Italien, wo er weniger gemäßigt auftritt, als Sirocco, wovon der in manche Schweizerthäler sich herabstürzende Föhn eine Fortsetzung ist; in Aegypten wird er Chamsin genannt und weht mit Unterbrechungen etwa 50 Tage von der Zeit der Nachtgleiche an. Im steinigten Arabien weht nach der Zeit unseres längsten Tages der von Vielen als sehr gefährlich geschilderte Samum oder Samiel.

Außer den heißen Winden gibt es auch kalte, welche weniger durch ihre Temperatur, als vielmehr wegen ihres sehr geringen Gehaltes an Feuchtigkeit schädlich sind und namentlich die Haut aufspringen machen. Solche Winde (Winga) suchen die russischen Steppenländer in Asien heim und stürzen sich von Hochasien in die Thäler. Bemerkenswerth sind noch die in einigen Gegenden, wie in Neufundland zu Zeiten herrschenden Schneestürme, nach denen ungeheure Schneemassen das Land bedecken.

Windrichtung und Barometerstand. Obwohl der genauere Zusammenhang des Barometerstandes mit den Windrichtungen erst dann erkannt werden kann, wenn man den Einfluß der in der Luft enthaltenen Dünste auf das Barometer und die Abhängigkeit ihrer Menge von den Richtungen des Windes in Beziehung auf eine gewisse Gegend erkannt hat; so wollen wir doch schon hier einige allgemeine und namentlich für Deutschland passende Bemerkungen anschließen.

Der Nordoststrom in der nördlichen Halbkugel hat wegen seiner niedrigen Temperatur eine geringere räumliche Ausdehnung, als der warme Südstrom und jener erscheint daher für einen bestimmten Beobachtungsort weniger oft, als dieser und die zwischen Süd und West liegenden Winde sind daher vorherrschend. Ferner nimmt die nördliche kalte Strömung auf ihrem Wege nach Süden bei wachsender Temperatur mehr Dünste in sich auf, während die dunstreichere und warme Südströmung während ihrer Abkühlung dieselben verliert. Aus beiden

Bedingungen ergibt sich, daß die nördlichen Winde einen höheren, die südlichen Winde aber einen niedrigeren Barometerstand mit sich bringen, als er das Mittel des Beobachtungsortes anzeigt. — Das Barometer muß, wenn der Wind von Süd durch West nach Nord geht, bei abnehmender Wärme und erfolgenden Niederschlägen steigen. Geht der Wind von Nord in West über, so erfolgt bei hohem Barometerstande und trockener Luft ein klarer Himmel; schreitet er aber über Ost nach Südost, so muß das Barometer bei zunehmender Wärme und beginnenden Niederschlägen fallen. — Die gegenseitige Verdrängung der beiden Hauptströme kann eine dreifache sein:

1) der obere Strom sinkt bei steigendem Barometer herab und dann tritt eine plötzliche Trübung der Atmosphäre ein, welche ebenso plötzlich verschwindet, wenn der Nordstrom siegt;

2) die Ströme stauen einander, wobei das Barometer sehr steigt und beim schnellen Fallen einen Sturm des siegenden Südstromes anzeigt;

3) die Ströme gehen seitlich aneinander vorüber, was größere oder kleinere gefährliche Wirbel verursacht, von denen die Windfahne die Tangente angibt. — Liegt hierbei der Nordoststrom westlich von dem Südweststrome und befindet man sich an der Ostseite des Wirbels, so geht die Windfahne bei fallendem Barometer von Südwest über Süd und Ost nach Nordost; an der Westseite geht sie von Nordwest über West und Süd nach Südost. — Liegt aber der Nordoststrom östlich von dem Südweststrome, so ist die Erscheinung umgekehrt. Bei stark fallendem Barometer kommt das Zentrum des fortschreitenden Wirbels näher und mit beginnender Windstille ist die Gefahr eines entgegengesetzt hereinbrechenden Sturmes am größten; bei steigendem Barometer nimmt die Gefahr aber ab.

Wenn der südliche Seitenstrom im Winter lange andauert, so liegen bedeutende Differenzen der Temperatur und Barometerstände im Osten (Europa) und Westen (Amerika) nebeneinander in derselben geographischen Breite. Dann erfolgt im Frühlinge in der Regel ein Kälterückschlag (Pankratius und Servatius) mit nördlichen Winden. Im Winter geht Regen bei steigendem Barometer und Westwinden in Schnee und dieser bei fallendem und Ostwinden in jenen über. Nimmt im Winter die Wärme zu, so steht das Barometer tiefer, als bei Kälte.

Die seit dem Jahre 1848 auf der meteorologischen Station Posen von mir angestellten Beobachtungen hatten mir bald die Ueberzeugung verschafft, daß ein plötzliches und tiefes Fallen des Barometers mit den Stürmen auf den Europa begränzenden Meeren in genauem Zusammenhange stehe und ich machte deshalb zuerst in der Posener Zeitung darauf aufmerksam, daß man die Telegraphen benutzen möge, um die Schiffer zu warnen. Gegenwärtig sind telegraphische Sturmsignale nicht

nur an der englischen Küste vorhanden, sondern auch Frankreich, Preußen und andere Staaten richten dergleichen ein.

Verwandlung des Aggregatzustandes durch Wärme.

Von ganz besonderem Interesse sind diejenigen Erscheinungen, welche dann an den Körpern sich zeigen, wenn sie bei der fortgesetzten Aufnahme oder Entziehung von Wärme ihren Aggregatzustand verändern.

Befindet sich in einem Glaskolben Eis, welches eine Temperatur z. B. von — 10° besitzt und bringt man denselben in eine warme Stube, so steigt die Temperatur bis 0° und dann fängt das Eis an zu schmelzen; wenn zur Beschleunigung der Beobachtung eine Spiritusflamme unter den Kolben gebracht wird, so bleibt die Temperatur von 0° so lange, als noch nicht alles Eis geschmolzen wird; ist dieses aber geschehen, so steigt die Temperatur des Wassers allmählig bis 80° R., um wieder so lange stehen zu bleiben, bis alles Wasser in Dampf verwandelt worden ist. Hat man die entstandenen Dämpfe, wenn auch nur theilweise in einem Gefäße aufgefangen und schließt man dieselben ab, so erhöht sich bei fortwährender Zuführung von Wärme ihre Temperatur.

Wie lange also ein Körper seinen Aggregatzustand behält, so lange ist die ihm zugeführte oder entzogene Wärme an ihm auch als Wärme erkennbar und meßbar; wie lange er aber nur seinen Aggregatzustand in aufsteigender Stufenfolge vom festen zum tropfbaren und luftigen verändert, so lange verschwindet die Wärme als solche. — Wenn umgekehrt ein Körper seinen Zustand in absteigender Stufenfolge vom luftigen zum tropfbaren und festen durch Entziehung von Wärme verändert, so muß in dem Augenblicke der Veränderung des Aggregatzustandes die Wärme, welche früher scheinbar spurlos verschwand (gebunden wurde), wieder hervortreten (frei werden). Was bei diesem aus zwei Raumtheilen Wasserstoff und einem Raumtheile Sauerstoff chemisch zusammengesetzten Körper, er mag nun Eis, Wasser oder Wasserdampf heißen, stattfindet, ist auch bei anderen zusammengesetzten und einfachen Stoffen der Fall. Nur wie lange ein Körper seinen Aggregatzustand nicht ändert, ist seine Temperatur fühlbaren und durch das Thermometer meßbaren Veränderungen ausgesetzt.

Bei einer bestimmten Lufttemperatur erscheinen verschiedene Stoffe in allen drei Aggregatzuständen, jeder in einem bestimmten; bei verschiedenen Temperaturen können die meisten Körper in allen drei Zuständen erscheinen, manche nur in zweien, indem ihnen der tropfbare fehlt. Der Uebergang eines bestimmten Stoffes aus dem einen Zustande in den anderen findet aber stets bei derselben Temperatur statt, wenn nicht eine Veränderung des auf sie ringsum ausgeübten Druckes vorgenommen wird.

Die Verwandlung des Aggregatzustandes in aufsteigender Folge kann auf drei Fälle zurückgeführt werden: auf das Verdunsten, Schmelzen und Kochen, und die in absteigender Folge auch und zwar auf die Sublimation, das Gefrieren und die Destillation im weiteren Sinne.

1) Das Verdunsten. Alle festen und tropfbaren Körper verwandeln sich bei jeder Temperatur in einen gasähnlichen oder gasigen Zustand, aber bei einer höheren Temperatur leichter, als bei einer niedrigen; denn die Molekel eines jeden Körpers sind stets in einer gewissen Schwingung begriffen und daher werden die an der Oberfläche befindlichen sich dahin entfernen, wo sie den geringsten Widerstand finden, nämlich vom Körper weg, wenn die Schwingungskraft das Bestreben der Kohäsion übertrifft. Da die Schwingungskraft mit wachsender Temperatur wächst, so wächst auch die Verdunstung. Bei festen Körpern sagt man: sie schwinden.

Der Kampfer, Moschus und andere stark riechende Körper schwinden sehr schnell, ziemlich schnell auch Schnee und Eis in trockener Luft. Wenn man eine Eisenstange sehr heiß macht, so raucht sie, weil sich so viele Theile an ihrer Oberfläche ablösen, daß sie sogar sichtbar werden. Selbst bei der gewöhnlichen Lufttemperatur verbreiten sich Metalle nicht nur in die Luft, sondern auch in alle damit in Berührung kommenden Sachen, ja selbst in Leichen, wie man es mit dem Arsenik bei solchen Gegenständen (Tapeten, Zeugen, Blumen), welche mit Arsenikgrün gefärbt waren, thatsächlich gefunden hat. Die dendritischen Gebilde von Schwefelkupfer hat man in dem vergilbten Papiere alter Bücher aus dem 16ten Jahrhunderte gefunden, indem die Bücher in Schweineleder mit Messingspangen gebunden waren.

Flüssige Körper verdunsten im Allgemeinen leichter oder bei noch niedrigeren Temperaturen, als feste: die Wassermenge in einem offenen Gefäße nimmt ab, nasse Wäsche wird trocken; das Meerwasser läßt man in flache, offene Behälter ab, um durch Verdunstung des Wassers das Seesalz zu gewinnen. Weingeist, Aether und ätherische Oele verdunsten sehr leicht; das Quecksilber selbst noch bei — 10° C., wenn auch nicht sehr. — Ist eine Flüssigkeit aus zwei oder mehren ungleich stark verdunstenden anderen zusammengesetzt, so bleibt schließlich die am schwersten verdunstende zurück.

Die Verdunstung wird befördert durch Vergrößerung der Oberfläche des Körpers, welcher verdunsten soll; durch Erhöhung seiner Temperatur, durch Verminderung des auf ihn ausgeübten Luftdruckes, durch Beseitigung der bereits gebildeten Dünste und durch Austrocknung der Luft, welche die Dünste aufnehmen soll. In allen diesen Fällen wird den an der Gränze des Körpers schwingenden Molekeln die Abtrennung von dem Körper erleichtert, theils durch Vermehrung der Schwingungskraft, theils durch Verminderung des äußeren Widerstandes gegen sie.

Da die Wäsche um so schneller trocknet, je mehr sie sich in der Luft bewegt, also die bereits gebildeten Dünste beseitigt werden; so haben die in jeder Beziehung so praktischen Amerikaner eine ganz einfache Wäschetrocknenmaschine erfunden. Auf einem lothrechten Ständer ist oben ein leicht drehbares Kreuz aus Latten, die Leine zur Wäsche wird nun von Latte zu Latte wiederholt ringsum gezogen. Jeder mäßige Luftzug bringt das Lattenkreuz mit der hängenden Wäsche in Bewegung.

Wenn man über einer Flüssigkeit die Luft verdünnt, sie z. B. unter den Rezipienten einer Luftpumpe gebracht hat und dann die Luft auspumpt, so wird die Verdunstung sehr beschleunigt. In den Zuckerraffinerien hat das sogen. Vakuum diesen Zweck. Soll die stärkere Verdunstung auf längere Zeit stattfinden, so müssen die erhaltenen Dünste stets weggeschafft werden, damit sie durch ihren Druck das weitere Aufsteigen anderer nicht hindern.

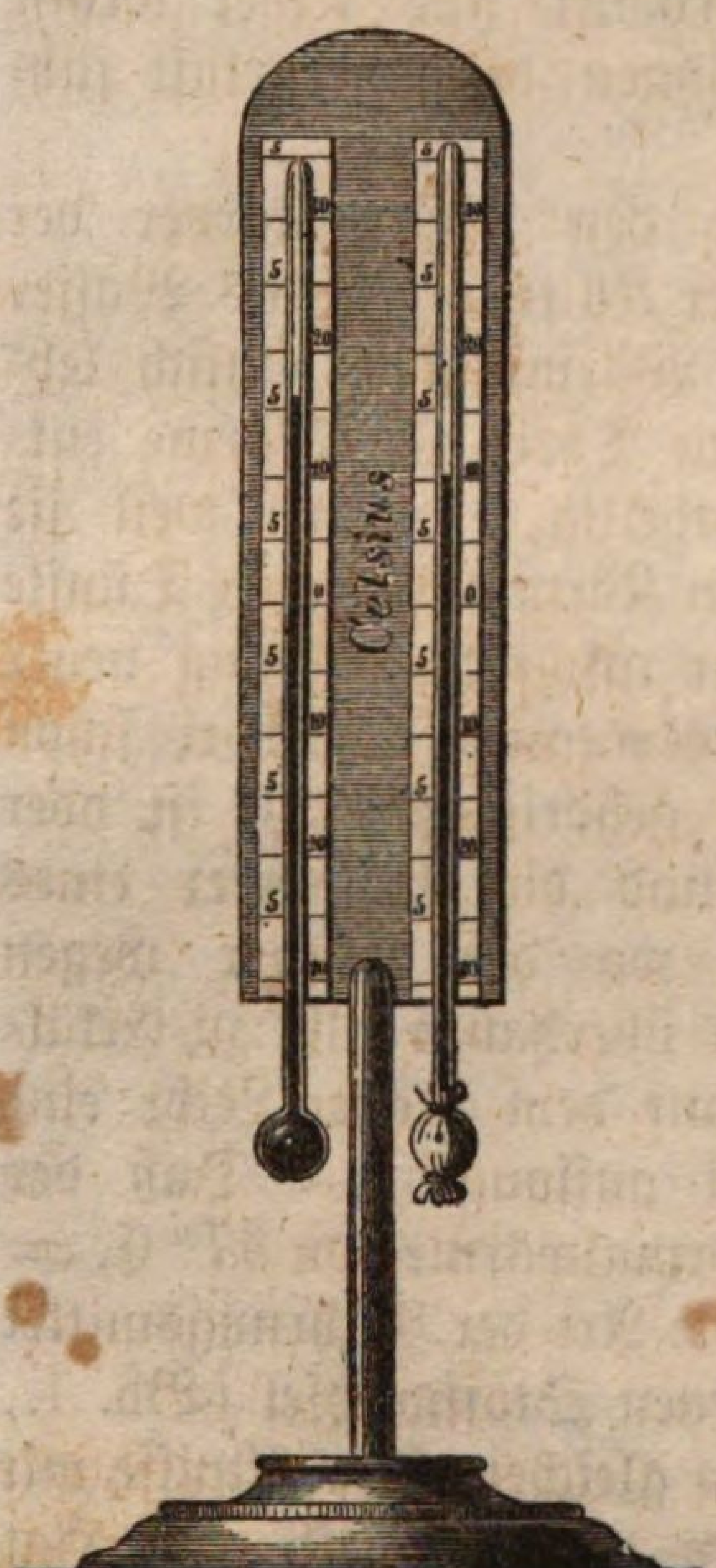
Abkühlung durch Verdunstung. Wenn von der Oberfläche eines Körpers schwingende Theilchen als Dunst sich ablösen, so verliert er dadurch an seiner Wärmekraft, die ein Produkt aus seiner Masse und Temperatur ist und wird kälter. Wir können diesen Verlust fühlen und messen.

Wenn man aus einem Bade steigt und den bloßen Körper der freien Luft aussetzt, so hat man das Gefühl der Kälte, weil das Wasser auf der Oberfläche des Körpers wegen dessen Wärme sich ziemlich lebhaft in Dünste verwandelt und dazu ihm einen Theil der Wärme entzieht. — Die Zugluft ist nicht an sich nachtheilig, sondern weil sie die Ausdünstung beschleunigt, indem sie die am Körper erzeugten Dünste hindert, sich um ihn zu lagern, und dadurch zur rascheren Bildung neuer beiträgt, wodurch man sich erkältet, besonders wenn der Körper schon mit Schweiß bedeckt und durch Kleidung nicht gehörig geschützt ist oder wenn die Kleider feucht sind. Die Seeleute und die Bewohner eines großen Theiles des östlichen Nordamerikas, wo der Körper wegen Trockenheit der Luft sehr rasch ausdünstet, und überhaupt alle zu Erkältung leicht geeigneten Personen tragen daher auf dem bloßen Leibe eine wollene Bekleidung, welche den Schweiß sofort auffaugt. — Daß der menschliche Körper unter allen Zonen eine Normalwärme von 37° C. = 29,6° R. hat, liegt nicht blos in dem durch die Art der Nahrungsmittel bedingten und mit Wärmeentwickelung verbundenen Stoffwechsel (Bd. I., S. 246), sondern weil die Ausdünstung stets in gleichem Verhältnisse mit der Temperatur stattfindet, welcher der Körper ausgesetzt ist. — Hat man in feuchte Erde Flaschen mit einer Flüssigkeit gegraben und macht man während kurzer Zeit ein Feuer darüber, so kühlt die Flüssigkeit ab. — Wollen die Schiffer bei sehr sanftem Winde die Richtung desselben bestimmen, so strecken sie die naßgemachte Hand empor. Der Wind kommt von der Seite, an welcher die Hand am kältesten wird.

Das Abkühlen heißer Speisen durch das Blasen. — Die Kühlschiffe in Brennereien und Brauereien müssen flach und dem Luftzuge ausgesetzt sein. — Die nach dem Besprengen der Stuben und Straßen und nach einem Regen stärker werdende Verdunstung kühlt ab; ebenso Springbrunnen, namentlich die mit sehr getheilten Strahlen und die Nähe von Gewässern überhaupt.

Die atmosphärische Luft ist bei einer bestimmten Temperatur und bei einer bestimmten Dichtigkeit, welche durch das Barometer bestimmt wird, fähig nur eine bestimmte Menge von Wasserdünsten als höchstes Maß in sich zu tragen, und dann ist die Luft mit Dünsten gesättigt; würden ihr mehr Dünste zugeführt, so entstände aus ihnen sofort Wasser, denn die Luft wäre übersättigt und kann die neuen Dünste als solche nicht mehr in sich tragen; ist aber die Luft fähig, noch Dünste in sich aufzunehmen, so ist sie um so trockener, je mehr sie dieses thut. In den beiden ersten Fällen ist die Luft feucht.

Es gibt ein einfaches Instrument, das Psychrometer, welches alle drei Fälle nicht nur anzeigt, sondern für den dritten auch die Menge der in der Luft bei einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Barometerstande vorhandenen Dünste, also auch den Druck, welchen sie auf das Quecksilber des Barometers ausüben, bestimmen läßt. Es besteht, wie Fig. 355 zeigt, aus zwei sehr genau mit einander übereinstimmenden Thermometern, welche noch Zehntelgrade ablesen lassen und von denen die Quecksilberkugel des einen mit feinem Musselin, dem man die Apretur durch Regenwasser genommen hat, recht gleichmäßig umhüllt ist.



(Fig. 355.)

Vor der Beobachtung wird die umhüllte Kugel des im Freien angebrachten Instrumentes mit destillirtem oder Regenwasser so angefeuchtet, daß ein Tropfen nicht daran hängt. Nun kann Dreierlei eintreten: 1) das angefeuchtete Thermometer bleibt mit dem trockenen auf demselben Punkte stehen. Dies ist ein Zeichen, daß die Luft nicht im Stande ist, Dünste noch aufzunehmen; sie ist gesättigt. 2) Das angefeuchtete sinkt bis zu einem gewissen Punkte als dem tiefsten für die betreffenden Umstände. Je größer der Unterschied der beiden Temperaturen ist, desto trockener ist die Luft. 3) Das angefeuchtete steigt höher zum Zeichen, daß die Luft bereits übersättigt ist, indem überschüssige Dünste sich an die feuchte Kugel ansetzen und ihr die

Wärme abgeben, welche sie bei der Verwandlung in Wasser verlieren. Hier zeigt sich zugleich die Wirkung der Anziehungskraft gleichartiger Stoffe, nämlich des Wassers an der Kugel zu dem Wasserdampfe in der Luft.

Hätte man die umhüllte Kugel mit einer rascher verdunstenden Flüssigkeit benetzt, so würde das Quecksilber noch mehr fallen, besonders wenn man das Thermometer bewegt und den Sonnenstrahlen aussetzt. Bei der Befeuchtung mit flüssiger schwefliger Säure, deren Siedepunkt schon bei — 10° ist, gefriert durch die rasche Verdunstung sogar das Quecksilber, also wird eine Kälte von — 39° C. erzeugt. — Da die zu tropfbaren Flüssigkeiten verdichteten Gase sehr schnell verdunsten, so erzeugen sie in ihrer Umgebung auch eine sehr große Kälte. Die größte bis jetzt beobachtete beträgt — 140° C. — Die Verdunstungskälte ist um so größer, je niedriger der Siedepunkt der angewendeten Flüssigkeit ist.

Vorläufig mag es genügen, mit diesem Instrumente die Verdunstungskälte nachgewiesen zu haben.

Durch das schnelle Verdunsten unter dem entleerten Rezipienten der Luftpumpe kann Wasser zum Gefrieren gebracht werden. Setzt man konzentrirte (rauchende) Schwefelsäure noch nebenbei, welche die erzeugten Dünste aufnimmt, so kann eine Kälte bis — 40° erzeugt werden. — Bringt man statt des Wassers Aether unter den Rezipienten, so geht die Kälte bis 51°. — Um eine allzuschnelle Erwärmung der Geschützröhren bei ihrem Gebrauche zu verhindern, werden dieselben mit einem nassen Wischer ausgewischt.

Die Verdunstungskälte wird in heißen Gegenden und auf Seereisen mittelst Kühlgefäßen zur Abkühlung der Nahrungsmittel angewendet. Wenn man in porösen Thongefäßen (Alcarazzas) Flüssigkeiten, namentlich Wasser, der Zugluft aussetzt, oder die Gefäße mit angefeuchteten Lappen umhüllt, so halten sich dieselben kühl. Bei den Butterkühlern ist die Butter ringsum durch die Verdunstung vor allzugroßer Erweichung im Sommer geschützt, weil nicht nur Wasser unter ihr, sondern auch in der porösen Glocke über ihr und um sie verdunstet. In Haushaltungen kann man ohne besondere Vorrichtungen sich damit behelfen, daß man den Teller mit Butter auf einen Dreifuß setzt, diesen in eine Schüssel mit einer flachen Wasserschicht stellt und über die Butter einen neuen unglasurten Blumentopf stürzt, dessen Rand unter Wasser steht und dessen Bodenöffnungen zugestopft werden. Man braucht dann nur zeitweise etwas Wasser über den Topf zu gießen.

Große Verdunstungskälte würde bei niedriger Lufttemperatur auf unseren Körper furchtbar zerstörend wirken. Hat man doch bei einer Nordpolexpedition die durch Verdunstung des Alkohol von — 40° R. erzeugte Kälte noch durch doppelte Pelzhandschuhe gefühlt. Wenn auch einerseits anhaltende bedeutende Kälte den lebenden Organismus völlig

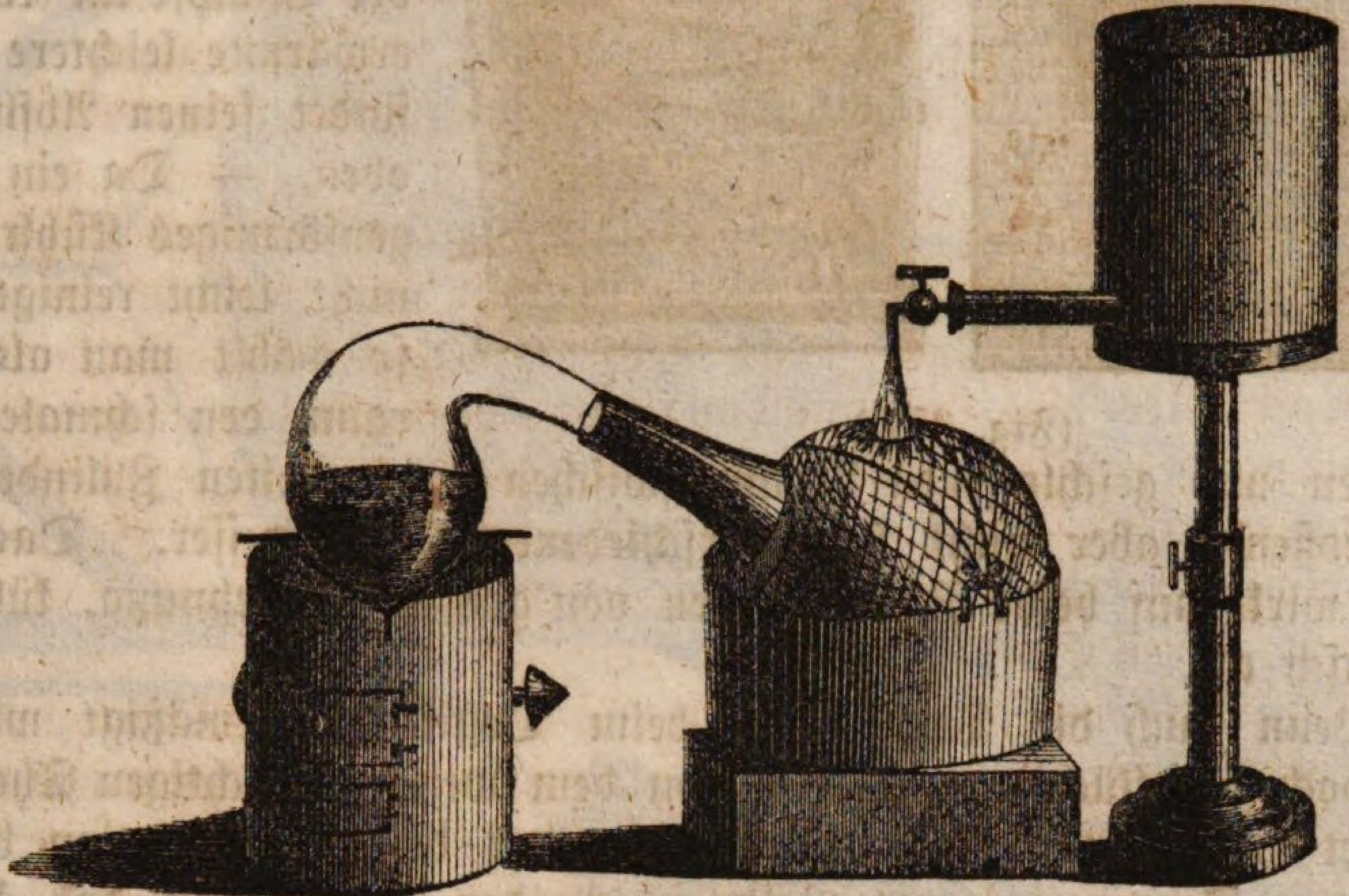
zum Stillstande bringt und zerstört, so dient doch andererseits mäßige Kälte als Heilmittel; denn sie zieht zusammen, stimmt die Thätigkeit der Nerven herab und macht sie unempfindlicher, sie kann also krankhafte Vorgänge, wie Entzündungen, Krampf, Schmerz herabsetzen, sie vermag aber auch bei kurzer Dauer der Einwirkung zufolge einer Reaktion des Körpers eine erhöhte Lebensthätigkeit (Wärme) hervorzubringen, die mangelnde Hautthätigkeit und Schlaffheit zu heben und trägen Stoffwechsel zu beleben.

Wenn Menschen, namentlich bei mangelhafter Ernährung längere Zeit der Kälte ausgesetzt sind, so erfrieren sie: die Blutgefäße an der Haut ziehen sich zusammen, das Blut tritt von der Oberhaut zurück, der Körper wird blaß, Empfindung und Beweglichkeit nehmen ab, die Erneuerung des Blutes wird mangelhaft und der Druck desselben auf Herz und Gehirn bewirkt den Tod, wobei die Glieder aufgetrieben, hart, ja zerbrechlich werden und bei der Verwundung kein Blut geben. — Wollte man den Erfrornen mit Wärme behandeln, so würde bei der zuschnellen Ausdehnung eine Zerreißung der Gewebe, Entzündung und Brand eintreten. Man muß den Verunglückten in ein Gemach von 0° Wärme bringen, ihn mit Schnee und Tüchern bedecken, welche man in Eiswasser getaucht hat und alles Reiben des Körpers vermeiden. Derselbe bedeckt sich hierbei wiederholt mit Eiskrusten. Treten Lebenszeichen ein, so flößt man etwas Ungarwein ein und nimmt erst später und vorsichtig zu warmen Mitteln seine Zuflucht.

2) Die Sublimation und Destillation sind dem Verdunsten entgegengesetzt. Wird den erhaltenen Dünsten die Wärme entzogen, indem sie mit kälteren Gegenständen in Berührung kommen; so nehmen sie den früheren festen oder tropfbaren Zustand wieder an, aus dem sie entstanden waren und die kälter gewesenen Körper erlangen dadurch eine höhere Temperatur. Man nennt die Verwandlung der Dünste und Dämpfe in tropfbare oder feste Körper im Allgemeinen die Kondensation oder Verdichtung derselben, weil der Stoff in dem neuen Zustande einen geringeren Raum einnimmt und beschränkt die Sublimation auf den Fall, daß aus den Dämpfen sogleich ein fester Körper wird. Hat der Schwefel durch Erhöhung seiner Temperatur sich verflüchtigt und man hält den Dünsten einen kalten Gegenstand vor, so setzt sich der Schwefel als ein feines gelbes Pulver (Schwefelblume) an ihn. — In ähnlicher Weise wird aus dem Galmei oder Zinkerze der Zink gewonnen; so gibt es Quecksilbersublimate, Arseniksublimate u. a.

Die Destillation. Verschiedene Flüssigkeiten verwandeln sich bei derselben Temperatur in verschiedenem Maße in Dünste und Dämpfe, oder die einen verdampfen bei einer niedrigen Temperatur ebenso leicht, wie die anderen bei einer höheren. Wenn daher ein Gemisch von verschiedenen Flüssigkeiten, z. B. Wasser und Weingeist, einer wachsenden Temperatur ausgesetzt wird, so verdunstet der Weingeist früher, als das

Wasser, da der Kochpunkt von jenem 78° C, von diesem 100° C. ist. Man kann demnach durch geeignete Vorrichtungen den flüchtigeren Stoff von dem anderen absondern, indem man die sich früher bildenden Dämpfe desselben kondensirt.

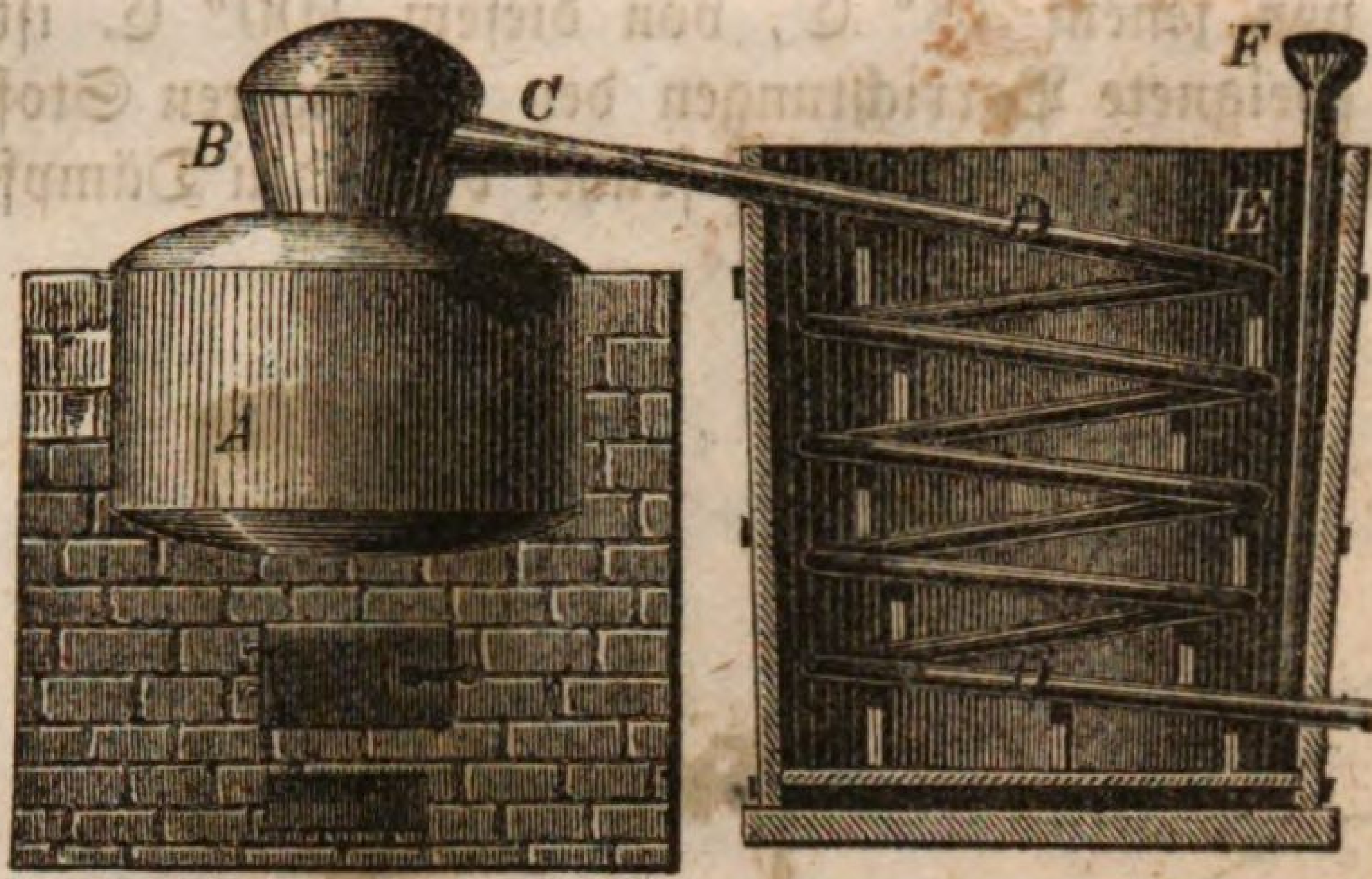


(Fig. 356.)

In Fig. 356 ist ein Apparat für beschränktere Zwecke dargestellt. Auf einer Kohlenfeuerung, welche durch eine Spiritusflamme oder für flüchtige Stoffe, wie Aether, dessen Siedepunkt schon bei 35° C. ist, nur durch warmes Wasser ersetzt wird, befindet sich eine Retorte von Glas, Thon oder Eisen; ihr Hals mündet in eine Vorlage, welche ein weiterer Kolben ist, den man in ein Gefäß stellt. Die Hälse beider werden luftdicht verbunden oder verschmiert und der Kolben mit Musselin oder anderem dünnem Zeuge überzogen. Daneben steht ein Gefäß mit kaltem Wasser, aus welchem durch eine mit einem Hahne versehene Röhre dasselbe auf den Kolben geleitet werden kann, um ihn stets feucht zu erhalten.

Es ist klar, daß die Dünste oder Dämpfe in der kalten Vorlage ihre Wärme abgeben und tropfbar flüssig werden. Je weniger flüchtig der zu destillirende Stoff ist, desto kälter muß die Vorlage sein.

Fig. 357 zeigt eine Vorrichtung zur Destillation im Großen. A ist ein in eine Feuerung gemauertes Gefäß aus Kupfer, Eisen oder zu besonderen Zwecken aus Blei und heißt die Blase; obenauf läßt sich der kegelförmig gestaltete Helm B schrauben, von ihm aus geht das Dampfableitungsrohr C zunächst grade, dann schließt sich daran das schlangenförmig gewundene Kühlrohr DD, welches sich in dem Kühlfasse E befindet und am Boden desselben nach außen geführt wird, um dort das Destillat aufzufangen. Das Kühlwasser wird durch ein



(Fig. 357.)

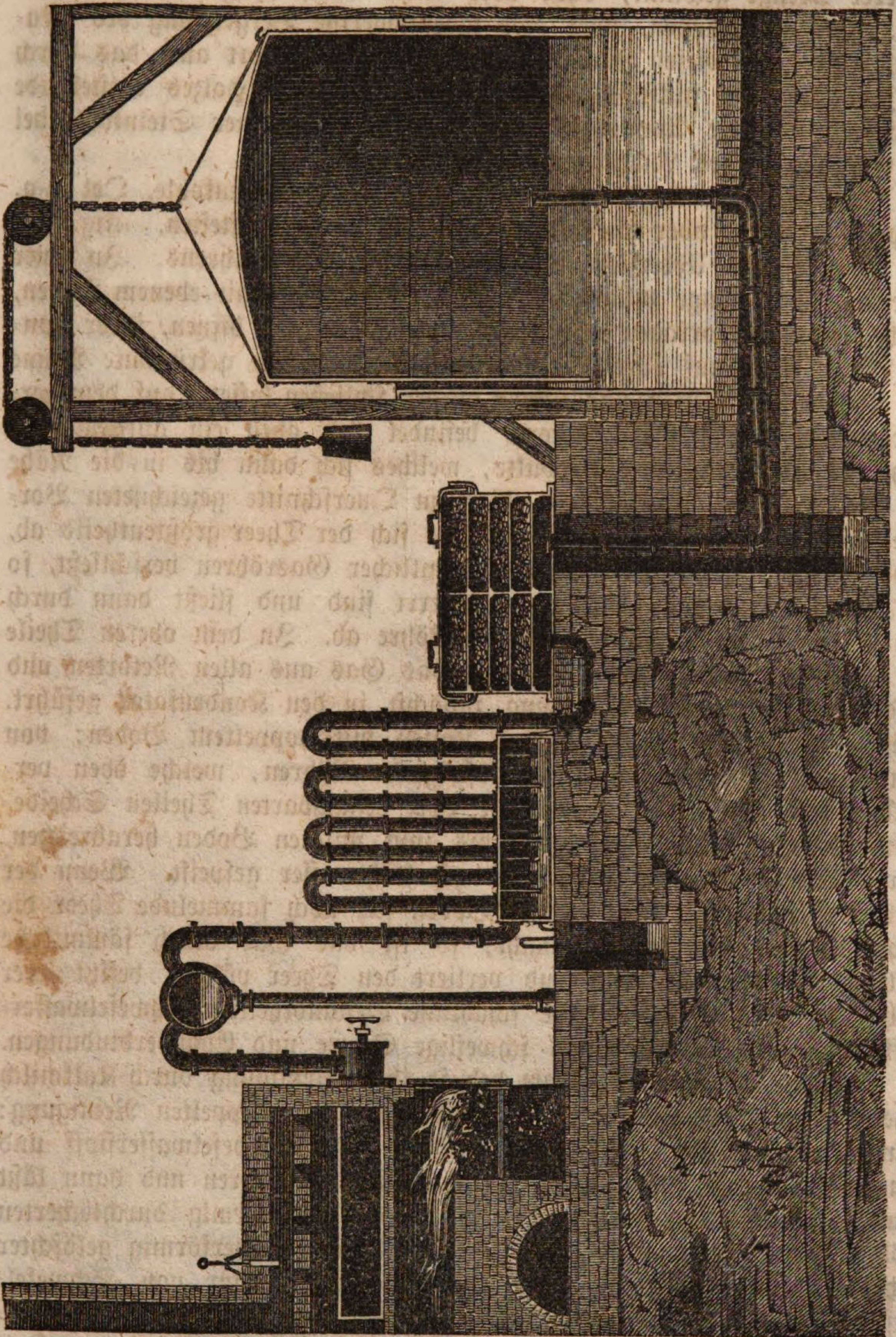
besonderes Rohr F bis an den Boden des Kühlfasses geleitet und das durch die Kondensirung der Dämpfe im Kühlrohre erwärmte leichtere Wasser findet seinen Abfluß von oben. — Da ein schlangenförmiges Kühlrohr sich nicht leicht reinigen läßt, so wählt man als Kühlraum den schmalen ringförmigen und geschlossenen Raum zwischen zwei weiten Zylinderröhren von großem, aber nicht sehr verschiedenem Durchmesser. Das Kühlwasser wirkt auf beide Röhrenflächen von großer Ausdehnung, kühlt also sehr rasch ab.

Wenn auch die Temperatur beim Destilliren gemäßigt wird, so führt doch der flüchtigere Körper von dem weniger flüchtigen Theile mit sich fort und es muß noch eine zweite oder dritte Destillation bei noch niedrigerer Temperatur vorgenommen werden, was man das Ueberdestilliren nennt.

Die trockene Destillation. Viele organische Körper, welche einer höheren Temperatur ausgesetzt werden, übergehen den tropfbaren Zustand und zersetzen sich in mehr oder weniger flüchtige Stoffe. Die trockene Destillation hat zum Zwecke, dieselben aufzufangen, wobei zugleich verschiedenartige von einander gesondert und in ihrer Reinheit dargestellt werden.

Wenn Holz, dessen Hauptbestandtheil, die Holzfaser, aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff besteht, in der freien Luft stark genug erhitzt wird, so verbrennt es unter Zurücklassung von nur wenig Asche mit Flamme, indem sich die aus ihm aufsteigenden Gase mit dem Sauerstoffe der Atmosphäre verbinden, wobei sich glühende Kohlenstofftheilchen ausscheiden, die allmählig in Kohlensäure verwandelt werden. Wenn aber ringsum eingeschlossenes Holz einer großen Hitze ausgesetzt wird, so entwickeln sich zwar die brennbaren Gase, aber sie verbrennen nicht, weil ihnen der Sauerstoff fehlt. Kühlt man die flüchtig gewordenen Stoffe ab, so werden nur einige von ihnen tropfbar, wie der Holzessig, das Kreosot und verschiedene ölartige Verbindungen aus Kohlenstoff und Wasserstoff; die meisten bleiben luftig und geben das Leuchtgas, welches ein Gemenge aus ölbildendem Gase, leichtem Kohlenwasserstoffe (Sumpfgas), Kohlenoxyd u. a. ist.

Das Holz kann bei der trockenen Destillation nicht ganz in Gase verwandelt werden, weil der Kohlenstoff in ihm überwiegt und Wasserstoff nicht in hinreichender Menge vorhanden ist, um mit ihm verbunden



(Fig. 358.)

zu entweichen; daher ist auch die zurückbleibende Kohle ziemlich reiner Kohlenstoff, wie bei der Holzkohle, welche man in den Meiiern in nicht größerer Menge gewinnt, ohne aber dabei die flüchtigen Bestandtheile des Holzes aufzufangen, was eine tadelnswerthe Vergeudung des Materiales ist. Zu diesen flüchtigen Bestandtheilen gehört auch das durch die Zersetzung der stickstoffhaltigen Bestandtheile des Holzes entstehende so äußerst wichtige Ammoniak, von welchem 1 Zentner Steinkohle bei der Gewinnung des Leuchtgases $^3/_4$ Pfund gibt.

Man kann Leuchtgas zwar aus Holz, Torf, Braunkohle, Oel u. a. Körpern erzeugen, aber Steinkohlen sind am vortheilhaftesten. Fig. 358 gibt eine skizzirte Uebersicht des dazu nöthigen Verfahrens In einer Feuerung liegen lange zylindrische, thönerne Retorten mit ebenem Boden, welche etwas hervorragen und durch einen Deckel sich öffnen, ihrer ganzen Länge nach auf einmal durch eine ebenso lange gekrümmte Rinne mit Kohlen sich speisen und schnell wieder schließen lassen; auf dem hervorragenden Theile jeder Retorte befindet sich oben ein aufsteigendes Rohr für die Destillationsprodukte, welches sich dann bis in die Nähe des Bodens einer zylindrischen, hier im Querschnitte gezeichneten Vorlage herabbiegt. In dieser Vorlage setzt sich der Theer größtentheils ab, wobei er die unteren Mündungen sämmtlicher Gasröhren verschließt, so daß die Retorten von einander abgesperrt sind und fließt dann durch eine etwas höher in ihm angebrachte Röhre ab. In dem oberen Theile der Vorlage sammelt und mischt sich das Gas aus allen Retorten und wird dann zu weiterer Reinigung zunächst in den Kondensator geführt. Dieser besteht aus einem eisernen Kasten mit doppeltem Boden; von dem oberen aus gehen auf- und absteigende Röhren, welche oben verbunden sind und unten zwischen je zwei benachbarten Theilen Scheidewände haben, welche nicht ganz bis zum unteren Boden herabreichen. Der Kasten wird von unten her mit Kühlwasser gespeist. Wenn der durch Abkühlung auf dem unteren Boden sich noch sammelnde Theer die Scheidewände untertauchen macht, so ist das Gas durch sämmtliche Röhren zu gehen genöthigt und verliert den Theer völlig, besitzt aber noch flüchtige und dem Zwecke schädliche Bestandtheile: Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Kohlensäure, schweflige Säure und Cyanverbindungen.

Früher ließ man die Gase behufs ihrer Reinigung durch Kalkmilch gehen, jetzt unterwirft man sie meist noch einer doppelten Reinigung: man wäscht sie mit Wasser, wodurch sie den Schwefelwasserstoff und Ammoniak, so wie einen Theil der Kohlensäure verlieren und dann läßt man sie durch einen Kalkreiniger mit mehren siebförmig durchlöcherten Böden und Abtheilungen gehen. In sie kommt pulverförmig gelöschter Aetzkalk und Eisenvitriol. Hier bleibt die letzte Spur von Schwefelwasserstoff, denn das Eisen verbindet sich mit dem Schwefel zu Schwefeleisen, die Schwefelsäure des Eisenvitriols mit Ammoniak und der Kalk mit der Kohlensäure.

Durch ein Abzugsrohr wird dann das Gas in den Gasometer (Bd. I. S. 318) zu weiterem Gebrauche geleitet.

3) Das Schmelzen. Jeder einfache, so wie jeder nach bestimmten Verhältnissen zusammengesetzte feste Körper verwandelt sich, wenn er dauernd einer Wärmequelle ausgesetzt wird, welche seine Temperatur erhöht, unter sonst sich gleichbleibenden Verhältnissen stets bei einer ganz bestimmten Temperatur in einen tropfbar flüssigen Körper; sein ganzes festes Gebäude zerfällt, die Molekel geben ihren Zusammenhang auf und folgen der Schwere. Diesen Uebergang nennt man das Schmelzen und die Temperatur, bei welcher er stattfindet, den Schmelzpunkt des Körpers. Manche Körper haben keinen Schmelzpunkt, theils weil sie niemals, selbst nicht bei sehr niedriger Temperatur, fest werden, wie der absolute Alkohol, theils weil sie niemals flüssig werden, wie der Diamant, welcher bei einer sehr hohen Hitze sich sogleich verflüchtigt, und andere feste Körper, die sogleich zersetzt werden, wie Holz, Papier, Wolle.

Die folgende Tabelle gibt die Schmelzpunkte einiger Körper an:

Quecksilber	— 39	° C.	Zink	230°	C.
Milch	— 11	„	Wismuth	256	„
Terpentinöl . . .	— 10	„	Blei	334	„
Wein	— 5	„	Zink	360	„
Seife	+ 33	„	Messing	900	„
Talg	— 40	„	Silber	1000	„
Phosphor	43	„	Kupfer	1100	„
Wachs, gelbes	61	„	Gußeisen, weißes . .	1100	„
„ weißes . . .	68	„	„ graues . .	1200	„
Metallgemisch v. Lippowitz	62	„	Gold	1250	„
„ „ Rose .	93,7	„	Stahl	1360—1400	„
Schwefel	109	„	Eisen, gehämm. .	1500—1600	„

Da verschiedene Stoffe einen verschiedenen Schmelzpunkt haben, so wird auch die in dem erhaltenen flüssigen Körper, so wie er aus dem festen von derselben Temperatur entstanden ist, vorhandene unmeßbare (gebundene) Wärme in einem verschiedenen Grade in ihm enthalten sein. Es läßt sich nach den bei der Wärmekapazität angeführten Untersuchungen leicht ermitteln, wie viele Wärmeeinheiten jeder Körper beim Schmelzen verbraucht, wobei unter Wärmeeinheit diejenige Wärme verstanden wird, welche erforderlich ist, um eine Gewichtseinheit (Gramm, Pfund) Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen.

Wenn man 1 Pfund Eis von 0° in ein Gefäß mit 45½ Pfund Wasser von 14° bringt, so ist die Temperatur des Wassers auf 12° gesunken, nachdem alles Eis geschmolzen ist. Um also Eis von 0° in Wasser von 12° zu verwandeln, sind 2° Wärme in 45½ Pfd. Wasser oder 91° Wärme in 1 Pfd. Wasser nöthig; um daher Eis von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln, sind 91 — 12 = 79° Wärmeeinheiten erforderlich.

Es bedürfen, um zu schmelzen: Blei 5,37, Wismuth 12,64, Zinn 14,25, Zink 28,13, krystallisirtes Chlorkalzium 46, Kalisalpeter 47, Natronsalpeter 63 Wärmeeinheiten.

Löst man 59 Theile Zinn, 103,5 Blei und 182 Theile Wismuth in 808 Theilen Quecksilber auf, so entziehen jene Metalle diesem beim Schmelzen so viele Wärme, daß seine Temperatur von 17,5° bis auf — 10° sinkt.

Gefrorne Früchte würde man dem Verderben preisgeben, wenn man sie in die warme Luft oder in warmes Wasser bringen wollte; man legt dieselben vielmehr in kaltes Wasser, dem sie ganz allmählich die Wärme entziehen, wodurch das sie umgebende Wasser zu Eis wird, während sie selbst aufthauen und wieder brauchbar sind.

Weiche Butter u. dergl. wird dadurch bald steif, daß man auf sie kleine Stücke Eis legt, welches zum Schmelzen bedeutende Wärme verbraucht. — Laues Trinkwasser wird durch wenig Eis trinkbar: Eiswasser. Da dieses schwimmt, so erfolgt die Abkühlung des Wassers von oben nach unten: das kälter gemachte Wasser sinkt zu Boden und kühlt zugleich das aufsteigende etwas ab, bis es an der Oberfläche 0° Wärme erlangt. Das Wasser am Boden wird niemals unter 4° C. abgekühlt sein.

Eine Veränderlichkeit des Schmelzpunktes und zwar eine Herabsetzung desselben zeigt ein Körper, wenn er einem vergrößerten Luftdrucke ausgesetzt oder mit anderen Stoffen versetzt wird, wie das Eis mit geeigneten Salzen und Säuren, was bereits bei den Kältemischungen angegeben ist. 3 Theile Eis mit 1 Theil Kochsalz geben ja — 21° bis — 22° und Chlorkalzium mit Schnee — 58°.

4) Das Gefrieren oder Erstarren ist dem Schmelzen entgegengesetzt. Wird einem tropfbaren Körper nach und nach Wärme entzogen, so tritt für jeden bestimmten unter übrigens gleichen Umständen bei einer bestimmten Temperatur der Fall ein, daß der Körper seinen flüssigen Zustand aufgibt und fest wird, wobei er sein Volumen mit einer ungeheuren Kraft (Bd. I. S. 96) vergrößert (bei Wasser um etwa $1/_{9}$), zumal wenn er eine krystallinische Gestalt annimmt.

Diejenige Wärme, welche der Körper verbraucht, um aus dem festen in den tropfbaren Zustand überzugehen, wird er auch wieder abgeben, wenn er den tropfbaren mit dem festen vertauscht. Da 1 Pfd. Wasser von 79° (bis 80°) mit 1 Pfunde Eis von 0° gemischt, 2 Pfd. Wasser von 0° gibt; so muß das Wasser bei seiner Verwandlung in Eis diese Wärme abgeben. Da aber diese Verwandlung meist ganz allmählig geschieht und von Theilchen zu Theilchen langsam fortschreitet, so entzieht diese Wärme sich der Wahrnehmung, indem sie ebenso allmählig auf die umgebenden Körper übergeht und das Gefrieren oder Erstarren findet daher bei derselben Temperatur statt, bei welcher aus dem festen Körper der flüssige wurde.

Ist man aber im Stande, ein plötzliches Erstarren zu erzeugen, so erkennt man die im Augenblicke der Umwandlung entstehende Wärme sehr deutlich. Wenn man destillirtes luftfreies Wasser in einer Glasröhre mit enger Mündung kocht und letztere während des Kochens zuschmilzt, so kann das Wasser an einem ganz ruhigen Orte bis zu — 14° C. abkühlen, ohne zu gefrieren; sowie man aber dasselbe erschüttert, entsteht plötzlich ein Gemenge von $^{12}/_{79}$ Eis und $^{67}/_{79}$ Wasser, welches eine Temperatur von 0° zeigt. Die sich entwickelnde Wärme gestattet nämlich nicht, daß alles Wasser zu Eis wird. — Wenn man bei größerer Winterkälte luftfreies Wasser in einem offenen Gefäße mit etwas Oel übergossen ganz ruhig stehen läßt, so kühlt es auch bis — 12° ab, es reicht aber das Hineinhalten eines Stückchen Eises hin, das Wasser sofort in Eis von 0° zu verwandeln. — Löst man 3 Thle. Glaubersalz (schwefelsaures Natron) in 2 Theilen heißen Wassers auf, gießt über die Auflösung etwas Oel und hält man dann in die allmählich erkaltete Flüssigkeit einen festen Körper, so steigt die Temperatur um 15—20°, indem sich plötzlich Krystalle bilden. Man bekommt auch bei steigender Temperatur solche Krystalle, wenn man starken Weingeist in die Auflösung gießt, weil dieser mit einem Theile des Wassers sich verbindet.

Dieselbe Erscheinung findet in allen ähnlichen Fällen statt. Sie ist uns in der Natur bei plötzlich eintretender Winterkälte dadurch von Nutzen, daß nur ein ganz allmähliges Einfrieren des Wassers mit seiner großen Wärmekapazität stattfindet, wobei freilich noch die Bd. II. S. 118 angeführten Umstände eine wesentliche Rolle spielen. Ebenso tritt glücklicherweise im Frühlinge bei plötzlicher Wärme auch nur ein allmähliges Aufthauen ein.

Wenn kaltes Wasser mit ungelöschtem Kalke sich verbindet, also seinen tropfbaren Zustand verliert, so entsteht eine sehr bedeutende Wärme.

Wenn man in Tibet, China und einem Theile Ostindiens, namentlich in der Gegend von Benares, selbst bei 8° Lufttemperatur im Freien Eis gewinnt und zwar nur bei Windstille und ganz heiterem Himmel, so liegt der Grund davon vorzüglich in der unter diesen Bedingungen sehr bedeutenden Ausstrahlung der im Wasser enthaltenen Wärme. Man gräbt auf offenen Feldern 1 Fuß tiefe und 4 bis 5 Fuß lange Gruben, bedeckt den Boden derselben mit Stroh, um durch diesen schlechten Leiter die Wärme des Erdbodens abzuhalten, stellt die Nacht über flache poröse Gefäße mit Wasser auf und findet früh auf dem Wasser eine Eisschicht. Die Verdunstung des Wassers durch das poröse Gefäß trägt auch etwas zur Abkühlung des Wassers bei.

Da die Temperatur, bei welcher verschiedene Körper erstarren oder gefrieren, verschieden ist, so kann man aus Gemengen oder Mischungen verschiedener Flüssigkeiten die eine von der anderen absondern, wenn

man die nöthige Abkühlung vornimmt. So sondert man in den Seifensiedereien die Seife von der Lauge; setzt man eine Mischung von Wasser und Spiritus dem Froste aus, so kann man das Wasser in der Gestalt des Eises absondern; ebenso das Wasser aus Wein nnd Bier wenigstens theilweise entfernen.

Wird zu Wasser Salz gethan, so gefriert es noch nicht bei 0°, sondern muß noch mehr abgekühlt werden, weil jetzt die Molekularanziehung beider Stoffe, des Wassers und des Salzes, überwunden werden muß. Es ist also klar, daß das Meerwasser mehre Grade unter 0° zeigt, ehe es gefriert, was für die Polarländer natürlich von einem ähnlichen Nutzen ist, wie wir ihn bei Erwähnung des Seeklimas bereits angeführt haben.

5) Das Sieden oder Kochen. Wenn eine Flüssigkeit einer Wärmequelle fortwährend ausgesetzt ist, verdunstet sie zunächst nicht nur an ihrer Oberfläche mehr und mehr, sondern es zeigt sich in ihrem Inneren die unsichtbar vorhanden gewesene Luft in kleinen aufsteigenden Blasen, während sie selbst in Bewegung geräth. Ist die Wärmequelle seitwärts, so bildet sich ein an dieser Seite aufwärts und an der entgegengesetzten abwärts gehender Wirbel; ist sie unter dem Gefäße, so steigen überall die warmen Theile aufwärts, indem sie ihre Wärme theilweise den kälteren ab..eben, während diese herabkommen. In diesem Falle geschieht die Erwärmung schneller, besonders bei breiter Bodenfläche, welche überdies die Wärme leichter aufnimmt, als die lothrechte Seitenwand. Die Luftblasen steigen bis ans Niveau und verschwinden erst dort in der äußeren Luft; bald aber steigen noch andere Bläschen auf, welche in der Flüssigkeit selbst verschwinden, sowie sie an kältere Stellen derselben kommen und dieses sind Dampfbläschen, welche wieder zu Wasser we den, wodurch ein eigenthümliches Summen, das sogen. Singen, entsteht, indem sich Wasser an Wasser in den leer gewordenen Räumen schlägt. Endlich geräth die ganze Flüssigkeit in wallende Bewegung, indem sich überall in ihrem Innern Dampf entwickelt, welcher nun nicht mehr verschwindet, sondern durch sie in die Luft steigt und nun erst kocht oder siedet die Flüssigkeit, wobei die Zuführung von Wärme gemäßigt und Brennmateriale gespart werden kann, ohne das Kochen zu unterbrechen, denn eine noch größere Erwärmung der Flüssigkeit kann nicht mehr stattfinden; eine vermehrte Beschickung des Feuers mit Brennmaterial kann nur die Dampfmenge vermehren, nicht das Kochen und den Zweck desselben fördern.

Nur wenn eine Flüssigkeit absolut rein und luftfrei und der auf ihre Oberfläche ausgeübte Luft- und Dampfdruck ein bestimmter ist, siedet sie bei einer ganz bestimmten Temperatur. Im Wasser vorhandene Luft lockert den inneren Zusammenhang und daher siedet völlig luftfreies Wasser erst bei einer nicht unbedeutend höheren Temperatur (135° C.). So wie Salzwasser einen tieferen Gefrierpunkt hatte, als reines, aus

demselben Grunde ist sein Siedepunkt ein höherer; die Dämpfe aber haben in beiden Fällen dieselbe Temperatur.

Sind Flüssigkeiten übereinander gelagert und hat die untere einen tieferen Kochpunkt, als die obere, so können sich die Dämpfe wegen des auf die Flüssigkeit ausgeübten größeren Druckes nicht so leicht entwickeln, sondern sammeln sich in größeren Blasen an, welche stoßweise die obere Flüssigkeit durchbrechen. Hineingelegte Metalldrähte bewirken ein ruhiges Kochen, weil sie durch Ableitung der Wärme die Ansammlung größerer Blasen verhindern Es ist auch natürlich, daß es in hohen Gefäßen wegen des größeren Druckes der Flüssigkeit schwerer kocht, als in niedrigen.

Verbinden sich Flüssigkeiten chemisch, so ist der Siedepunkt der Mischung je nach ihrem Verhältnisse verschieden.

Je geringer der Luftdruck auf das Niveau der Flüssigkeit ist, welcher sich ungeschwächt durch sie ins Innere fortpflanzt, desto leichter kocht sie, weil die schwingenden Wassertheilchen dann nach oben einen verminderten Widerstand finden. Je höher man also in der Atmosphäre steigt, desto leichter kocht das Wasser: in dem Hospiz auf dem St. Bernhard bei 7700 Fuß absoluter Höhe schon bei 92° C., auf dem Montblanc bei 14800′ Höhe bei 85° C. Stellt man lauwarmes Wasser unter den Rezipienten der Luftpumpe, so kocht es schon bei mäßiger Luftverdünnung und im luftleeren Raume bei jeder Temperatur, wenn nur die entstandenen Dämpfe bald weggeschafft werden.

Sind zwei Kugeln von Glas durch eine Röhre verbunden und luftleer, so ist die Wärme der Hand imstande, das in der einen Kugel befindliche Wasser zum Kochen zu bringen (der **Pulshammer**) und wenn man, ohne die Hand anzulegen, die andere Kugel in eine Kältemischung bringt, so gefriert das Wasser wegen heftiger Verdunstung (der **Kryophorus**).

Bringt man etwas Wasser in einem Glaskolben zum Kochen, verschließt man während der Dampfentwickelung die Mündung der Röhre mit einem Korke und nimmt man den Kolben gleichzeitig vom Feuer weg, so hört das Kochen sofort auf. Dreht man den Kolben um und gießt man auf die Kugel etwas kaltes Wasser, so werden die Dämpfe zu Wasser, und weil der Druck nun vermindert ist, so kocht es wieder, bis die sich sammelnden Dämpfe durch ihren Druck das Kochen wieder verhindern. Auf diese Weise kann man ein wiederholtes Kochen bewirken.

Die Verminderung des auf das Niveau einer Flüssigkeit ausgeübten Luft- oder Dampfdruckes setzt also den Siedepunkt herab; also wird die Vermehrung desselben ihn höher setzen. Wenn man demnach die Dämpfe hindert, sich in die freie Luft zu begeben, was dadurch geschieht, daß man das Gefäß oben abschließt; so wird das Wasser eine höhere Temperatur annehmen, ohne zu kochen und seine kleinsten Theilchen werden wegen des vermehrten Druckes, welchen sie zu erleiden

haben, in die Poren derjenigen Körper dringen, welche sich in ihm befinden. Es ist also klar, daß die Körper nicht nur in weit kürzerer Zeit gar kochen, sondern, daß auch solche, welche beim Kochen in der freien Luft ganz bleiben, wie z. B. Knochen, unter solchen Umständen zerkocht werden können.



(Fig. 359.)

In dieser Beziehung sind die Papinschen Töpfe zu erwähnen, wovon Fig. 359 eine Abbildung zeigt. Der metallene flache Topf A hat an seinem oberen Theile einen Bügel C, durch dessen Mitte eine Schraube d geht, vermittelst welcher er an den Deckel B und dadurch dieser an den Topf so festgeschraubt werden kann, daß beim Kochen Dämpfe nicht entweichen können. Um Explosionsgefahr zu vermeiden, hat der Deckel bei a ein Sicherheitsventil, welches bei einem gewissen Dampfdrucke, wie ihn das Gefäß eben noch verträgt, geöffnet wird; bei b ist noch eine Röhre mit einem Hahne, um den Dampf vorher abzulassen, wenn man den Deckel abnehmen will. In einem solchen Topfe können Knochen größtentheils zu Brei gekocht und die Nahrungsbestandtheile in ihnen noch verwerthet werden

Beim Kochen mit Wasser unterscheidet man in den Haushaltungen weiches Wasser von hartem. Zu jenem gehört das Regenwasser, das von Flüssen, Teichen, vielen Landseeen und das destillirte Wasser; dieses findet sich in den meisten Brunnen und auch in solchen stehenden Gewässern, welche durch unterirdische Quellen gespeist werden. In dem harten Wasser werden die Speisen weniger leicht oder überhaupt nicht gar, weil es fremdartige, namentlich Kalkbestandtheile enthält, welche sich in die Poren der Speisen setzen und das Eindringen des Wassers verhindern. In dem harten Wasser löst sich auch Seife nicht ganz auf. Durch Soda kann es etwas verbessert werden; ist es trübe und sogar übelriechend, so wird es vorher durch Kohle filtrirt.

Wenn sich beim Kochen einer Flüssigkeit eine zusammenhängende Haut an der Oberfläche absondert, so können die sich entwickelnden Dämpfe nicht an die Luft durchdringen, sondern heben die Haut oder die Häute und es kocht über, wenn auch das Gefäß nicht sehr gefüllt ist. Wenn man aber in dasselbe einen den Boden des Kochgefäßes bedeckenden Trichter umgekehrt stellt und seine Spitze ragt über die Flüssigkeit, so dringt dieselbe beim Kochen zwar durch und lauft über sie, aber das Ueberlaufende geht in das Gefäß zurück. Dies ist der sogen. Milchschützer.

Folgende Tabelle weiset die Siedepunkte einiger Flüssigkeiten bei mittlerem Luftdrucke nach:

Schweflige Säure . .	— 10° C.	Alkohol	78° C.
Salzäther	+ 12 „	Salpetersäure	86 „
Salzsäure, konzentrirte . .	20 „	Meerwasser	104 „
Salpetrige Säure . . .	28 „	Leinöl	315 „
Schwefeläther	36 „	Schwefelsäure, konzentrirte	327 „
Vitriolöl	45 „	Quecksilber	360 „

Wenn die verschiedenen Flüssigkeiten während eines bestimmten äußeren Luftdruckes auch bei verschiedenen Temperaturen kochen, so haben ihre Dämpfe doch dieselbe Druckkraft, welche sie befähigt, aus den Flüssigkeiten aufzusteigen und den grade nur stattfindenden Luftdruck zu überwinden. Dieses läßt sich durch den Versuch auch unmittelbar bestätigen, wenn man die Dämpfe in dem kürzeren geschlossenen und luftleeren Schenkel eines Barometers entwickelt. Das Dampfbarometer. Je tiefer der Siedepunkt einer Flüssigkeit liegt, desto dichter und elastischer sind ihre Dämpfe bei einer höheren Temperatur.

Lösungen (Salz in Wasser) oder Mischungen (Wasser und Weingeist) haben bei einem bestimmten Verhältnisse der Bestandtheile einen bestimmten Siedepunkt, aber bei der Verflüchtigung des einen ändert sich der Siedepunkt des Ganzen. So läßt sich der Salzgehalt aus der Temperatur des Siedepunktes des Salzwassers angeben.

6) Die Kondensation der Dämpfe. Unter der Kondensation verstehen wir hier nicht nach der Wortbedeutung das bloße Verdichten der Dämpfe, sondern die Verwandlung derselben in den tropfbaren Zustand; denn Dämpfe, welche sich in einem abgesperrten Raume entweder allein oder vermischt mit atmosphärischer oder anderer Luft befinden, können dann durch Zusammendrückung verdichtet werden, ohne daß sie einen tropfbaren Körper geben, wenn sie bei der betreffenden Temperatur den kleineren Raum nur höchstens grade noch bis zum Sättigungsgrade erfüllen. Diese Verwandlung tritt allerdings dann ein, wenn die Raumverengung noch weiter getrieben, aber auch dann, wenn die Dämpfe bis unter die Temperatur, bei welcher sie den Raum sättigen würden, abgekühlt werden. Wird der mit Dämpfen gesättigte Raum aber erweitert oder erwärmt, so ist er befähigt, mehr Dämpfe aufzunehmen.

Die Richtigkeit dieser Betrachtung läßt sich durch einen Versuch leicht erkennen. Läßt man bei einer einfachen etwas längeren Barometerröhre in die torizellische Leere (Bd. I. S. 208) durch das Quecksilber etwas Wasser steigen, indem man die untere Mündung der Röhre in einen etwas langen Zylinder mit Quecksilber taucht (wie in Fig. 89, Bd. I., S. 221), so verdunstet ein Theil des Wassers und das Quecksilber fällt; zieht man die Röhre aufwärts, so verdunstet mehr Wasser, aber das Quecksilber behält seinen tieferen Rand zum Zeichen, daß die Dämpfe einen größeren Druck nicht ausüben, und ist nicht zu viel

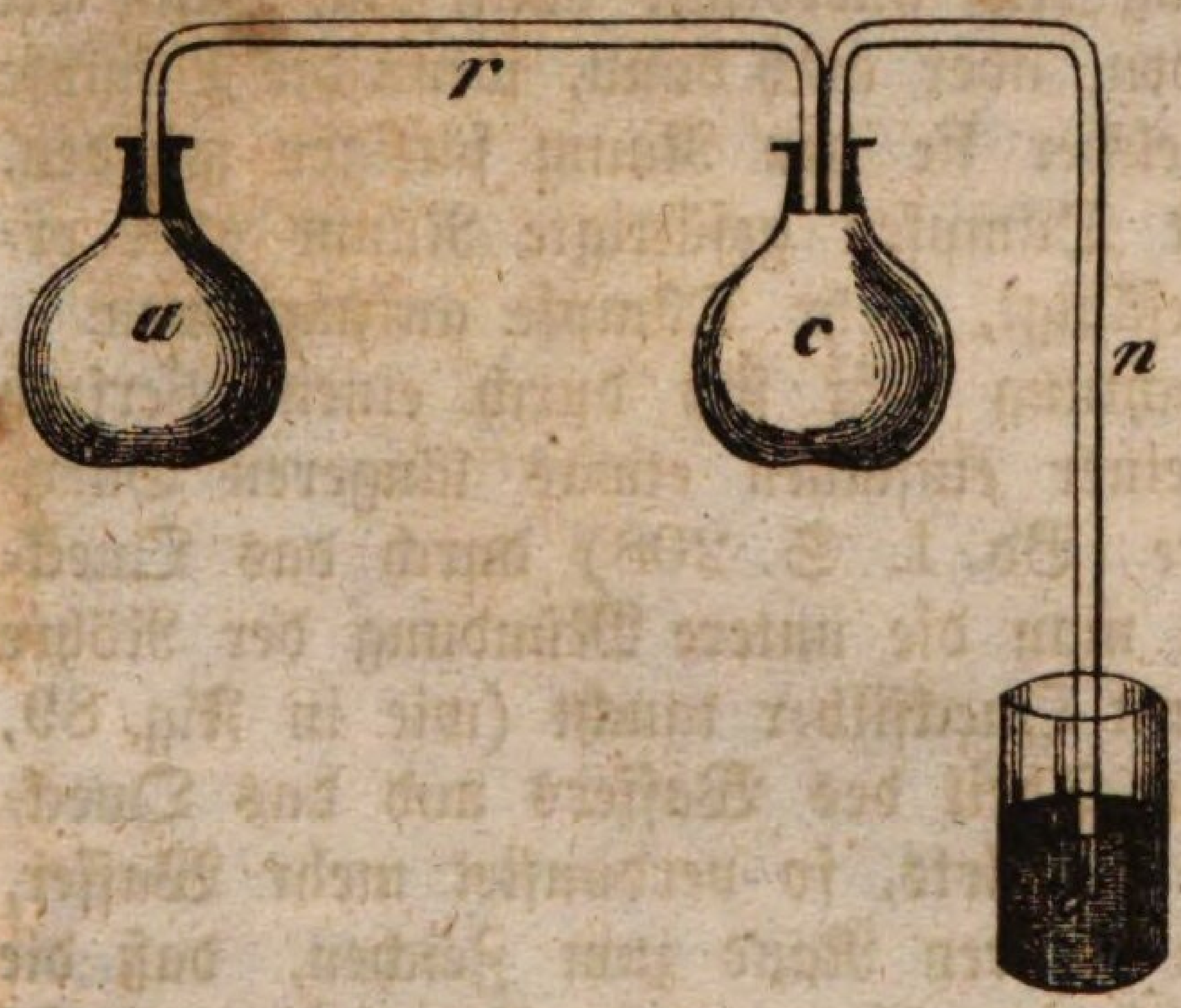
Wasser darin oder die Röhre lang genug, so kann man es dahin bringen, daß alles Wasser verdunstet ist. Zieht man dann die Röhre noch weiter aufwärts, so steigt das Quecksilber, zum Zeichen, daß der Dampfdruck auf dasselbe geringer geworden ist. Wie lange also der Quecksilberstand sich nicht ändert, so lange ist der Raum über ihm mit Dämpfen gesättigt, im anderen Falle ist der Sättigungsgrad nicht erreicht. — Läßt man dann die Röhre in das Quecksilbergefäß wieder herab, so fällt der Quecksilberstand, so wie aber der obere Raum kleiner wird, als er zum Sättigungsgrade gehört, bildet sich durch das Zusammendrücken der Dämpfe Wasser oder die Dämpfe werden kondensirt.

Wenn der Raum, welchen die Dämpfe sättigen, abgekühlt wird, indem man z. B. Schnee außerhalb anhält, so wird auch ein Theil der Dämpfe verdichtet und das Quecksilber steigt; würde er aber erwärmt, z. B. durch ein daran gehaltenes glühendes Metallstück, so fällt das Quecksilber und es würden sich noch mehr Dämpfe bilden, wenn noch Wasser vorhanden wäre.

Ganz dieselben Erscheinungen treten ein, wenn über dem Quecksilber etwas Luft vorhanden ist, nur daß dann der Barometerstand auch ohne Wasserdämpfe nicht erreicht wird.

Wie die zur Kondensation der Dämpfe erforderliche Kälte erzeugt wird, ist ganz gleichgiltig: es kann u. a. durch Verdünnung der Luft geschehen. Wenn eine Flasche mit engem Halse mit Wasserdämpfen gesättigt worden ist, indem man etwas Wasser darin geschüttelt hat und man saugt dann schnell etwas Luft aus, so entsteht ein Nebel. Oder hat man in die Flasche kräftig geblasen, indem man die Mündung mit dem Munde schließt, und es ist dabei die Luft klar geblieben, so entsteht beim Aufhören und Ausströmen eines Theiles der Luft auch ein Nebel.

Aeußerst wichtig ist für die Kondensation der Dämpfe zu praktischen Zwecken noch die Beantwortung der Frage nach dem Verhalten der Druck- oder Spannkraft der Dämpfe in einem an verschiedenen Stellen ungleich erwärmten Raume. Verbindet man zwei Glaskolben a und c (Fig. 360), welche etwas Schwefeläther enthalten, mit einer luftdicht durch die Hälse gehenden Röhre r und läßt man von dem einen c noch eine ebenso durchgehende längere Röhre n herabgehen; so läßt sich durch das Kochen des Aethers leicht alle Luft aus dem Appa-



(Fig. 360.)

rate entfernen. Schließt man, während nur noch Aetherdämpfe aus o entweichen, diese Oeffnung, indem man sie in Quecksilber taucht und entfernt man gleichzeitig die Flamme, welche die Dämpfe erzeugt; so befinden sich nur noch Aetherdämpfe im Apparate und das Quecksilber steigt in der Röhre n während seiner Abkühlung, ohne aber die Barometerhöhe zu erreichen, und bleibt endlich auf einem bestimmten Punkte stehen, wenn der Apparat die Temperatur der umgebenden Luft angenommen hat. Kühlt man nun auch nur einen der beiden Kolben, gleichgiltig welchen, oder beide durch kälteres Wasser ab, so steigt das Quecksilber sofort noch und um so mehr, je größer die Abkühlung ist. Daraus ergibt sich das wichtige Gesetz:

die Spannung des Dampfes in einem ihm zugänglichen Raume ist stets die an seiner kältesten Stelle.

Die an der kältesten Stelle bewirkte Kondensation der Aetherdämpfe vermindert dort die Druckkraft, so daß der Dampf an den wärmeren Stellen mit der größeren Druckkraft sofort dorthin strömen und sich verdichten muß, bis überall das Gleichgewicht hergestellt ist.

Benutzung der Wasserdämpfe.

1) Dampfbäder. Je wärmer die Luft in einer Stube ist, desto mehr kann sie Wasser in Dampfgestalt in sich tragen. Feuchtwarme Luft ist aber nicht nur dem Gedeihen der Pflanzen sehr förderlich, sondern in vielen Fällen auch dem menschlichen Körper sehr dienlich. Daher richtet man Räume ein, welche bei hoher Temperatur mit Dämpfen gesättigt: sogen. russische oder Dampfbäder. Die Wärme lockert die Haut auf, wodurch sie nicht nur zu einer gründlicheren Reinigung geeignet, sondern auch zu einer erhöhten Thätigkeit angeregt wird. Es wird dadurch die Blutbewegung theils unmittelbar, theils durch die Reaktion bei den kalten Begießungen hervorgebracht und die Haut zugleich gegen den nachtheiligen Einfluß schneller Temperaturwechsel abgehärtet.

2) Dampfdestillation. Will man aus Pflanzen die riechenden Bestandtheile ausziehen und sogen. ätherisches Wasser bereiten, wie Rosenwasser, Fenchelwasser, so nimmt man eine Destillirblase mit doppeltem Boden, wovon der obere siebartig durchbrochen ist. Auf diesen kommen die Pflanzen in verkleinertem Zustande und in den Zwischenraum darunter werden die Dämpfe geleitet. Diese nehmen die Riechstoffe in sich auf und in der Vorlage sammelt sich das Wasser, von welchem sich der größere Theil der ätherischen Oele absondert und obenauf lagert. Man wendet dazu häufig überhitzten Dampf an, d. h. Dampf, welcher eine höhere Temperatur hat, als sie zum Sättigungsgrade des Dampfes gehört.

Der überhitzte Dampf dient auch zur Erweichung mancher Stoffe, welche im Wasser nicht zerkocht werden können, z. B. der Knorpel zu

Leim; ferner wird er zum Rösten verschiedener Gegenstände angewendet, dann auch, um aus dem Theer die brennbaren Gase abzusondern.

3) Dampfkocherei. Wenn man 1 Pfund Wasser von 100° in Dampf von 100° verwandelt und die erhaltenen Dämpfe behufs ihrer Kondensation durch ein metallenes Schlangenrohr leitet, welches sich in 10 Pfunden Wasser von 0° befindet, so wird dieses dadurch auf 54° erwärmt und nur 1 Pfund Wasser würde von 0° auf 540° steigen. Obwohl also die Dämpfe blos die Temperatur des kochenden Wassers zeigen, so enthalten sie doch eine bedeutend höhere Wärme, als dieses. Das eine Pfund Dampf von 100°, welches aus 1 Pfund Wasser von 100° entstanden ist, würde beim Abgeben seiner Wärme während der Verwandlung zu Wasser, wenn es in Wasser von 0° geleitet würde und es auf 100° erwärmen sollte, 5,40 Pfunde so erwärmen und überhaupt:

eine bestimmte Dampfmenge von 100° C. erwärmt eine 5,4 mal größere Wassermenge von 0° auf 100°.

Man braucht also das Wasser, in welchem man einen Gegenstand in der freien Luft gar kochen will, nicht durch ein Feuer zum Kochen zu bringen, sondern man kann dies erreichen, wenn man Wasserdämpfe von kochendem Wasser hineinleitet. — Bisweilen will man, wie in Brennereien oder bei Dampfmaschinen das Speisewasser für den Kessel (im Tender an der Lokomotive) nur vorwärmen. Die in das kalte Wasser geleiteten Dampfblasen bringen bei ihrer Kondensation, namentlich anfänglich, ein bedeutendes Gepolter hervor durch den Schlag des Wassers auf Wasser in dem leer gewordenen Raume.

Man kann aber auch die Dämpfe allein und unmittelbar zum Kochen verwenden, ohne daß man sie erst in Kochwasser leitet, sondern von unten an einen siebförmig durchlöcherten Boden, über welchem der abzukochende Gegenstand, z. B. Kartoffeln, in einem hölzernen, gut zugedeckten Gefäße sich befindet. Dadurch wird an Heizmaterial gespart.

Haben die Dämpfe eine höhere Temperatur, so wird der Zweck schneller erreicht.

4) Dampfheizung. Die in den Dämpfen vorhandene gebundene Wärme wird auch zur Erwärmung der Luft in geschlossenen Räumen benutzt. Von dem geschlossenen Dampfkessel gehen zunächst die Zuleitungsröhren aus und daran schließen sich die Wärmeröhren. Bei beiden sind Ausgleichungsstücke erforderlich, welche das Ausdehnen und Zusammenziehen der Röhren gestatten, ohne daß sie undicht werden. Jene Röhren müssen die Wärme gut zusammenhalten, also schlecht leiten, diese aber sie schnell verbreiten, weil sie sich in dem zu beheizenden Raume befinden. Sind die Leitungsröhren einfache Metallröhren, so müssen sie wenigstens polirt sein; besser ist es, eine zweite umschließende und abgesperrte Luft enthaltende Röhre anzuwenden und am besten sie mit ganz schlecht leitenden Stoffen zu umhüllen, denen man eine glatte Oberfläche gibt, oder in dickes Mauerwerk einzuschließen. Die Wärme-

röhren müssen ziemlich dünn und, damit sie die Wärme gut ausstrahlen, nicht glatt sein; sie haben eine solche Neigung, daß das Kondensationswasser in ihnen nicht zurücklauft, sondern sich am Ende der Leitung ansammelt, von wo es durch besondere Röhren in den Kessel zurückgeführt wird. Damit Röhren mit dünnen Wänden durch den äußeren Luftdruck nach der Verwandlung der Dämpfe in Wasser nicht leiden, sind Luftventile in ihnen angebracht, welche der Dampf geschlossen erhält.

Die Wirksamkeit der Dampfheizung läßt sich aus Folgendem beurtheilen: 1 Pfund Wasserdampf von 100° erwärmt 1 Pfund Wasser von 0° auf 540°. Nun ist die Wärmekapazität der atmosphärischen Luft nur 0,2669 von der des Wassers, also würde 1 Pfund Wasserdampf von 100° fähig sein, 1 Pfund Luft von 0° um so viele Grade zu erwärmen, als wie oft 0,2669 in 540 enthalten ist, also auf 2023,2°. Ein Pfund Luft nimmt bei 0° den Raum von 13,6 Kubikfuß ein, also erwärmt 1 Pfd. Wasserdampf von 100° 13,6 Kubikfuß Luft von 0° auf 2023,2° und 1 Kubikfuß Luft auf 13,6 . 2023,2 = 27515,52°. Um 1 Kubikfuß Luft blos von 0° auf 1° zu bringen, wird der $\frac{1}{27515}$ Theil dieser im Wasserdampfe enthaltenen Wärme erforderlich sein, und nun kann man leicht berechnen, welche Dampfmenge, also auch wie viel Wasser und Feuerungsmaterial von einer gewissen Güte erforderlich sein wird, um einen Raum von gegebenem Kubikinhalte von einer gewissen Temperatur an zu einer bestimmten höheren zu erwärmen, wobei vorausgesetzt ist, daß für jede um 1° höhere Temperatur dieselbe Wärme erforderlich ist, was freilich, ganz strenge genommen, nicht stattfindet.

Auf vielen der Dampfschiffe der nordamerikanischen Union werden die Steinkohlen nach allen Richtungen ausgebeutet: nicht nur, daß man beim Feuern den Rauch verbrennt, was für die Fahrenden sehr angenehm ist, sondern man bereitet auch das Gas zur Erleuchtung und benutzt den Dampf zur Beheizung.

Von der Wärme des Dampfes wird übrigens zu vielen technischen Zwecken noch ein wichtiger Gebrauch gemacht, z. B. in Dekartiranstalten, in Brauereien und Brennereien zum Trocknen des Malzes, dann auch zum Trocknen des Schießpulvers, des Tabaks, verschiedener Stoffe in Apotheken, Papier- und anderen Fabriken, auch in Essig- und Salzsiedereien, Färbereien, Druckereien, Badeanstalten, zum Rösten des Kaffees u. s. w.

Die Dämpfe anderer Flüssigkeiten enthalten weniger Wärme: Weingeist 245, Aether 168 Wärmeeinheiten auf 100 Theile; sie sind also zum Erwärmen weniger geeignet, werden aber in der Technik anderweitig benutzt; die von Weingeist z. B. lösen alle harzigen Stoffe auf.

5) Dampfmaschinen. Die beiweitem folgenreichste Anwendung findet der Dampf zum Betriebe von Maschinen der verschiedensten Art. Es wird hierbei seine Expansivkraft, d. h. sein Bestreben, einen größeren Raum einzunehmen, als bewegende Kraft in ähnlicher Weise benutzt, wie

bei den Luftexpansionsmaschinen. Bei der Vergleichung beider Kräfte scheint der Dampf im Nachtheile zu stehen; denn es genügt nicht blos, das Wasser bis auf 100° zu erwärmen, sondern es muß dieses soweit erwärmte Wasser durch weitere Wärme noch in Dampf von 100° verwandelt werden. Letztere Wärme ist fast 5½ mal so groß, als die, welche Wasser von 0° auf 100° brachte. Aber dieser Dampf hat noch nicht eine höhere Druckkraft, als die atmosphärische Luft; er muß also noch mehr erwärmt werden, um ihren Druck zu überwinden. Bei den kalorischen Maschinen wird die Wärme sofort auf den bereits vorhandenen luftigen Körper übergetragen, ohne erst eine Aggregatsumwandlung vorzunehmen und da die Dämpfe nach geschehener Arbeitsleistung in die Luft geblasen oder in einem besonderen Raume kondensirt werden, so geht jene gebundene Wärme verloren, ohne mechanische Leistung vollführt zu haben. Dagegen ist festzuhalten, daß der Dampf bei gleicher Temperatur mit erwärmter Luft mehr leistet, als diese, weil bei jenem die größere Masse das Bewegungsmoment größer macht. Ueberdies aber sind die Dämpfe durch Steigerung ihrer Temperatur und ihres Sättigungsgrades einer fast unbegränzten Kraftentwickelung fähig. Es wäre wohl vollkommen überflüssig, heutzutage noch auf die enorme Wichtigkeit der Dampfindustrie in sozialer und kulturgeschichtlicher Beziehung hinzuweisen und wir gehen daher bald zur Sache.

Die Kraft, mit welcher Dämpfe drücken, oder die Druckkraft, ist von drei Bedingungen in gradem Verhältnisse abhängig:

1) von dem Drucke, welchem sie selbst ausgesetzt sind, wie lange sie dabei sich noch nicht kondensiren;
2) von der Menge, in welcher sie in einem gewissen Raume von bestimmter Temperatur vorhanden sind, d. i. von der Dichtigkeit oder vom Sättigungsgrade:
3) von der Temperatur, welche sie in einem bestimmten Raume besitzen, worin sie in einer bestimmten Menge vorhanden sind.

Wachsen Druck, Sättigungsgrad und Temperatur, so muß auch das Kraftmoment wachsen, weil sich theils die zu einer bestimmten Raumeinheit gehörige Menge von Stofftheilen vermehrt, theils weil ihre Geschwindigkeit wächst. Der Dampf dehnt sich aus, wenn er Raum dazu hat, und wird weniger dicht, er kann aber seine Druckkraft behalten, wenn nur seine Temperatur wächst; ist er abgesperrt, so behält er seine Dichtigkeit und die Spannkraft wächst mit seiner Temperatur; wird ein vorhandener mit ihm in Verbindung stehender Wasservorrath gleichzeitig mit ihm in einem Raume erwärmt, so wächst die Dichtigkeit und er ist dabei stets gesättigt.

Die Größe der Spannkraft läßt sich mittelst des Dampfbarometers finden und wird entweder auf den mittleren Druck der Atmosphäre bezogen, so daß man z. B. sagt: der Dampf hat einen Druck von einer, von zwei u. s. w. Atmosphären oder wird durch Gewichte angegeben, wobei

man den Druck desselben auf einen Quadratzoll als Richtschnur annimmt und z. B. sagt: der Dampfdruck beträgt 15,30 u. s. w. Pfunde. Die zweite Angabe ist natürlich in der ersten enthalten (vergl. Bd. I., S. 209). Die ganze Arbeitsleistung wird durch Pferdekräfte ausgedrückt.

Wie die Dämpfe überhaupt bewegend wirken, kann man leicht mittelst einer Dampfkugel, Windkugel oder Aeolipile beobachten. Es ist dieses eine hohle Metallkugel von 2 bis 3 Zoll Durchmesser, oberhalb mit einer in eine feine Spitze auslaufenden Röhre und einem kleinen Sicherheitsventile versehen. Wird etwas hineingebrachter Spiritus zum Kochen gebracht, so können die ausströmenden Dämpfe ein kleines Rad mit Flügeln, auf welche sie geleitet werden, in Bewegung setzen. Gewöhnlich wird die Aeolipile zum Löthen und zum Erweichen oder Schmelzen des Glases gebraucht. Ist der Dampfentwickelungsapparat drehbar und geht der Dampf durch einseitig gekrümmte Röhren, wie beim segnerschen Wasserrade (Bd. I. S. 434), so dreht sich der Apparat zufolge der Reaktion.



(Fig. 361.)

Diese Stoß- oder Druckkraft der Dämpfe läßt sich in höchst einfacher Weise auch zur Bewegung eines Stempels in einer Röhre benutzen. Ist (Fig. 361) c eine Glaskugel mit etwas Wasser, schließt sich an sie eine grade Glasröhre (Stiefel) r r und paßt in sie luftdicht, aber noch leicht beweglich, ein Stempel (Kolben) s s an einem Stäbchen; so kann man es durch eine darunter gehaltene Spiritusflamme leicht dahin bringen, daß der Stempel durch die Ausdehnung der Luft und der gebildeten Dämpfe unter ihm herauf und ganz heraus gedrängt wird. Läßt man nun die im Innern vorhandene Luft durch die Wasserdämpfe heraustreiben und bringt man dann den Stempel wieder in die Röhre, indem man sie gleichzeitig der Flamme entzieht, so wird bei der allmähligen Abkühlung der abgesperrten Dämpfe der äußere jetzt überwiegende Luftdruck den Stempel allmählig in die Röhre treiben. Wenn man die Dämpfe in der Kugel und in der Röhre plötzlich durch kaltes Wasser abkühlt, so daß ein fast leerer Raum entsteht, so wird der Stempel so plötzlich herabgedrückt, daß dadurch der Apparat leicht zertrümmert werden kann. — So könnte man allerdings durch abwechselnd wiederholtes Entwickeln und Kondensiren der Dämpfe ein fortwährendes Spiel des Kolbens und durch die Kolbenstange mittelst der geeigneten Vorrichtungen mancherlei Zwecke erreichen, z. B. Wasser pumpen; aber die Handhabung einer solchen Vorrichtung ist allzu umständlich, kostspielig und unwirksam, als daß man von ihr jetzt noch Gebrauch machen sollte und wir gehen daher sofort zu den wesentlichsten Bestandtheilen einer Dampfmaschine über.

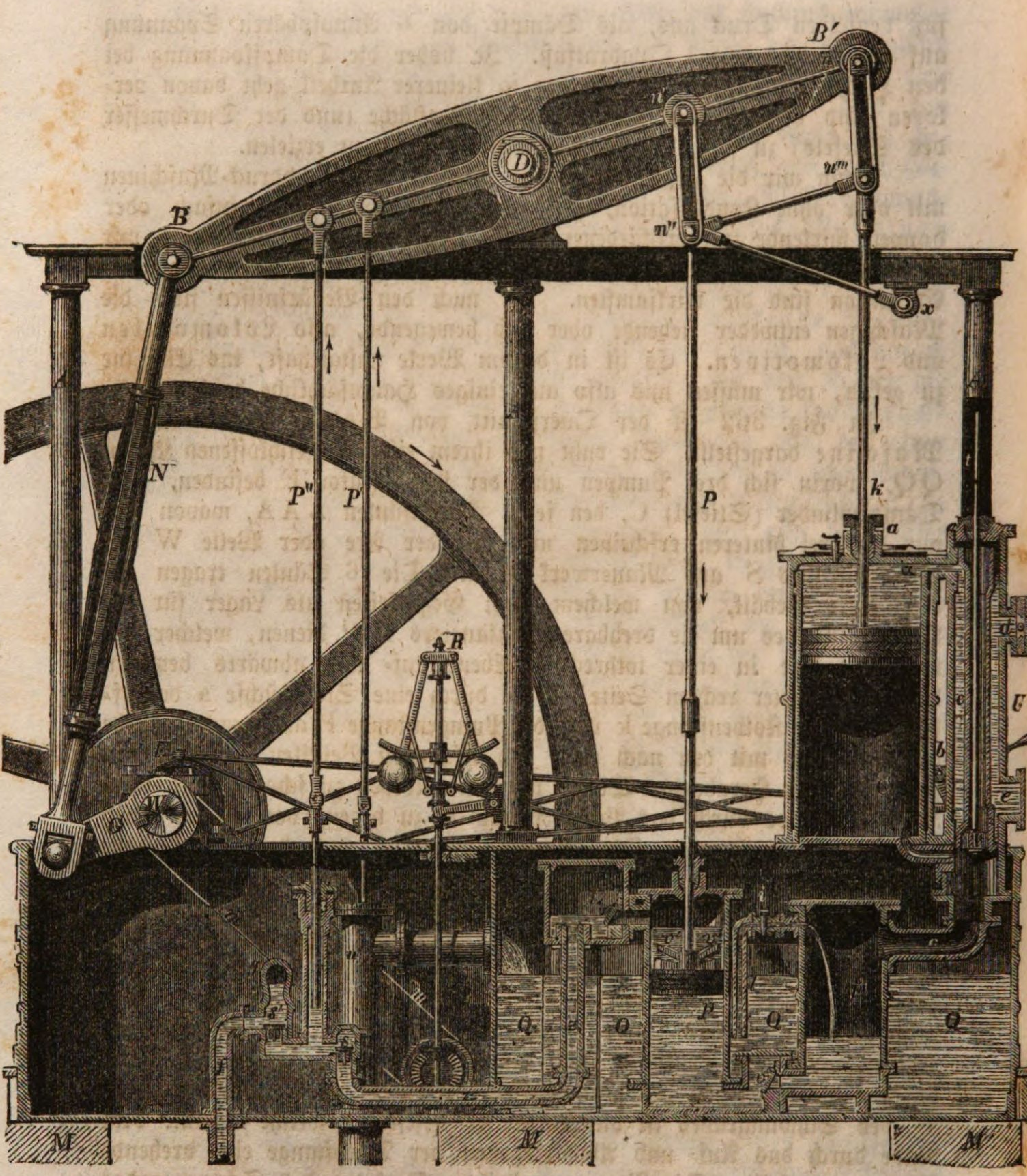
Wird der Dampf nur auf der einen Seite des Kolbens entwickelt und dann kondensirt, um dem Kolben durch den Druck der Atmosphäre die entgegengesetzte Bewegung zu geben, so heißt die Maschine eine einfach wirkende Niederdruck-Maschine; läßt man aber den Dampf, nachdem er seine Wirkung vollbracht hat, ins Freie und bewirkt die rückgängige Bewegung durch eine andere Kraft, wie durch Gewichte oder die Schwere und den Druck von Wasser (Wasserhaltungsmaschinen), so werden sie einfach wirkende Hochdruck-Maschinen genannt. — Werden die Dämpfe abwechselnd nach den beiden Seiten des Kolbens geleitet und auf der Seite, nach welcher hin der Kolben sich bewegt, verdichtet; so ist dies eine doppelt wirkende Niederdruck-Maschine, wird aber für diesen Fall der Dampf, nachdem er seine Wirkung vollbracht hat, ins Freie gelassen, um dem Kolben die Bewegung zu gestatten, so ist es eine doppelt wirkende Hochdruck-Maschine, wobei der Dampf eine höhere Spannung als die einer Atmosphäre haben muß, um den Gegendruck derselben zu überwinden. Hat er auf der treibenden Seite die Druckkraft von 2 Atmosphären, so bewegt sich der Kolben mit der Kraft nur einer, also geht die Hälfte verloren; hat er die Spannung von 3 Atmosphären, so geht der Kolben nur mit der Kraft von zweien, also geht ein Drittel verloren und so geht ein immer um so kleinerer Theil der Druckkraft der Dämpfe verloren, je höher ihre Spannung ist und daher rührt der Name: Hochdruckmaschine. — Endlich hat man noch Expansionsmaschinen, bei welchen der Dampf nicht so, wie er aus dem Kessel kommt, zur Wirksamkeit gelangt, sondern durch zeitweise Absperrung gezwungen wird, sich zu verdichten, um dann bei seiner Ausdehnung in kürzerer Zeit ebenso wirksam zu sein, als in längerer Zeit, wenn er nicht verdichtet worden wäre. Es ist nämlich für den Gesammterfolg einerlei, ob auf den Kolben Dämpfe mit z. B. 6 Atmosphären Spannung während des ersten Drittels seines Weges im Stiefel drücken oder Dämpfe von 2 Atmosphären Spannung während des ganzen Weges. Im ersten Falle ist aber der Druck auf den Kolben am Anfange seiner Bewegung energischer und nimmt nach und nach mit der Ausdehnung der Dämpfe bis zu 2 Atmosphären ab, während er im zweiten Falle mit der schwächeren Kraft von nur 2 Atmosphären vom Anfange bis zu Ende drückt und somit nicht eine so große Geschwindigkeit erzeugen kann. Im ersten Falle ist also der in den letzten zwei Dritteln des Weges erlangte Erfolg als Gewinn anzusehen. — Man muß zur Erreichung dieses Zweckes die Dämpfe in einem Vorgemache, der Dampfbüchse, mittelst eines Schieberventiles (Expansivschiebers) für jede Kolbenbewegung hin und her während der letzten zwei Drittel des Weges von dem Stiefel absperren.

Die Hochdruckmaschinen gewähren den Vortheil, daß sie weniger Raum einnehmen, als die Niederdruckmaschinen; denn Dämpfe von der Spannkraft 1 Atmosphäre üben auf eine Fläche von z. B. 6 Quadrat-

fuß denselben Druck aus, als Dämpfe von 6 Atmosphären Spannung auf eine Fläche von 1 Quadratfuß. Je höher die Dampfspannung bei den Hochdruckmaschinen ist, ein um so kleinerer Antheil geht davon verloren und desto kleiner braucht die Kolbenfläche (und der Durchmesser des Stiefels) zu sein, um einen gewissen Erfolg zu erzielen.

Wenn wir die Eigenschaften der Nieder- und Hochdruck-Maschinen mit oder ohne Kondensation, mit oder ohne Expansion, einfach oder doppelt wirkende in verschiedener Weise kombiniren, so bekommen wir sehr verschiedene Systeme von Dampfmaschinen. Hochdruckmaschinen mit Expansion sind die wirksamsten. Je nach den Bedürfnissen sind die Maschinen entweder stehende oder sich bewegende, also Lokomobilen und Lokomotiven. Es ist in diesem Werke unstatthaft, ins Einzelne zu gehen, wir müssen uns also auf einiges Hauptsächliche beschränken.

In Fig. 362 ist der Querschnitt von Watts Niederdruck-Maschine dargestellt. Sie ruht mit ihrem eisernen geschlossenen Kasten QQ, worin sich drei Pumpen und der Kondensator F befinden, dem Dampfzylinder (Stiefel) C, den sechs Metallsäulen AAA, wovon hier nur die drei hinteren erscheinen und mit der Axe oder Welle W des Schwungrades S auf Mauerwerk MM. Die 6 Säulen tragen ein rechteckiges Gebälk, von welchem zwei Gegenseiten als Lager für die Queraxe D des um sie drehbaren Balanciers BB' dienen, welcher sich um diese Axe in einer lothrechten Ebene auf- und abwärts bewegen läßt. An seiner rechten Seite ist die durch eine Stopfbüchse a dampfdicht gehende Kolbenstange k und die Pumgenstange P angebracht, welche den Kolben p mit den nach oben sich öffnenden Ventilen in Bewegung setzt, um beim Herabgehen Wasser über den Kolben zu schaffen und beim Hinaufgehen es durch das Ventil r nach L zu heben, von wo es durch z und das nach oben sich öffnende Ventil s nach der Druckpumpe geht; an seiner linken Seite sind zwei Pumpenstangen P' und P'' und die Triebstange N an seinem Ende. Die Stange P' bewegt eine Saughebepumpe w und schöpft kaltes Wasser nach Q, um dann durch das Oeffnen des Hahnes i in nothwendiger Menge nach dem Kondensator gelassen zu werden; die Stange P'' bewegt eine Druckpumpe und preßt beim Herabgehen das durch z und das Ventil s aus L geflossene Wasser durch das Ventil s' nach dem Windkessel g, von wo es dann durch f zur Speisung des Dampfkessels verwendet wird. An der Welle W des Schwungrades ist die Kurbel G befestigt, welche sammt dem Rade durch das Auf- und Abwärtsgehen der Triebstange eine drehende Bewegung erhält. Die Bewegung bei der Drehung des Schwungrades wird durch einen um die Welle gelegten Riemen mm auf eine Scheibe übergetragen, durch welche mittelst eines Getriebes die Axe des Regulators R in drehende Bewegung gesetzt wird, so daß dieser die Schnelligkeit des Schwungrades wiedergibt. Der Regulator selbst aber steht durch ein hier nicht gezeichnetes Hebelsystem mit der Klappe d am

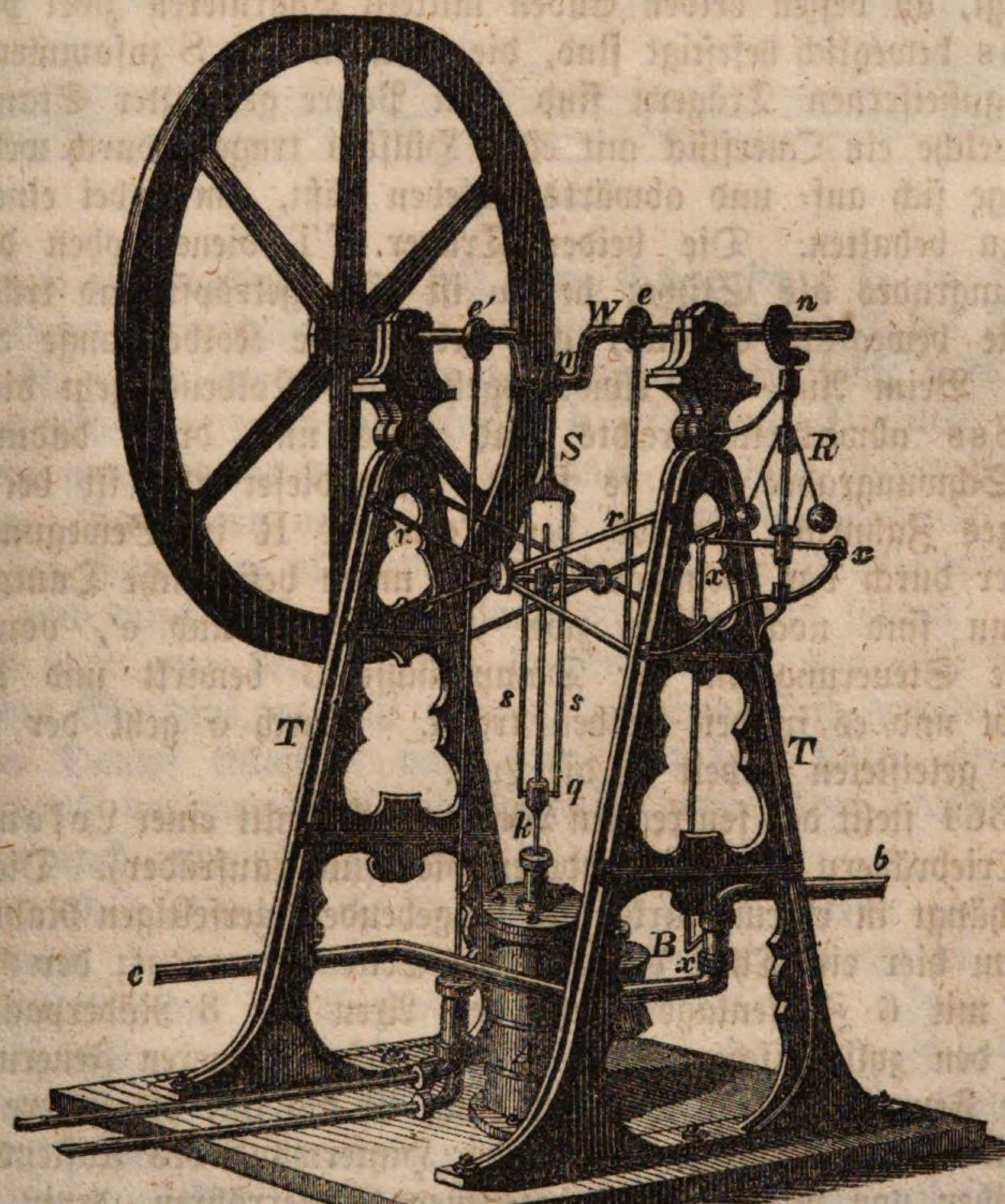


(Fig. 362.)

Dampfzuströmungsrohre e′ in Verbindung, um bei zu schnellem Gange der Maschine die Klappe etwas zu schließen und weniger Dampf und bei zu langsamem (wenn etwa Feuerungsmaterial zugelegt wird und die Dampfentwickelung nicht recht stattfindet) mehr Dampf zuzulassen. Der

Dampf geht aus dem Zuleitungsrohre nicht unmittelbar in den Zylinder, sondern in ein Vorgemach, die Dampfbüchse U, worin sich ein Schieberventil befindet, dessen Stange t ist, und welches bei seiner Bewegung gestattet, daß der Dampf abwechselnd durch α und β über und unter den Kolben gelangt und daß gleichzeitig und beziehungsweise der untere und obere Raum des Dampfzylinders mit dem Kondensator F in Verbindung gebracht werde. Um diese Verbindungen und Absperrungen in dem richtigen Augenblicke eintreten zu lassen, ist an der Axe des Schwungrades eine exzentrische Scheibe (Exzentrik) E mit dem dazu nöthigen und dem Schieberventile in Verbindung stehenden Gestänge befestigt.

Die senkrechte Bewegung der Kolbenstangen k und P wird durch das Wattsche Parallelogramm $n\,n'\,n''\,n'''$ erzielt, dessen untere drei Seiten verschiebbar sind, wobei n'' durch den drehbaren Stab $n''x$ genöthigt wird, einen Kreisbogen zu beschreiben. Während der Punkt n am Balancier bei dessen Bewegung einen Bogen beschreibt, und bei seiner horizontalen Lage, welche mit der horizontalen von $n''x$ zusammentrifft, am weitesten nach rechts liegt, werden die Punkte n'' und n'''



(Fig. 363.)

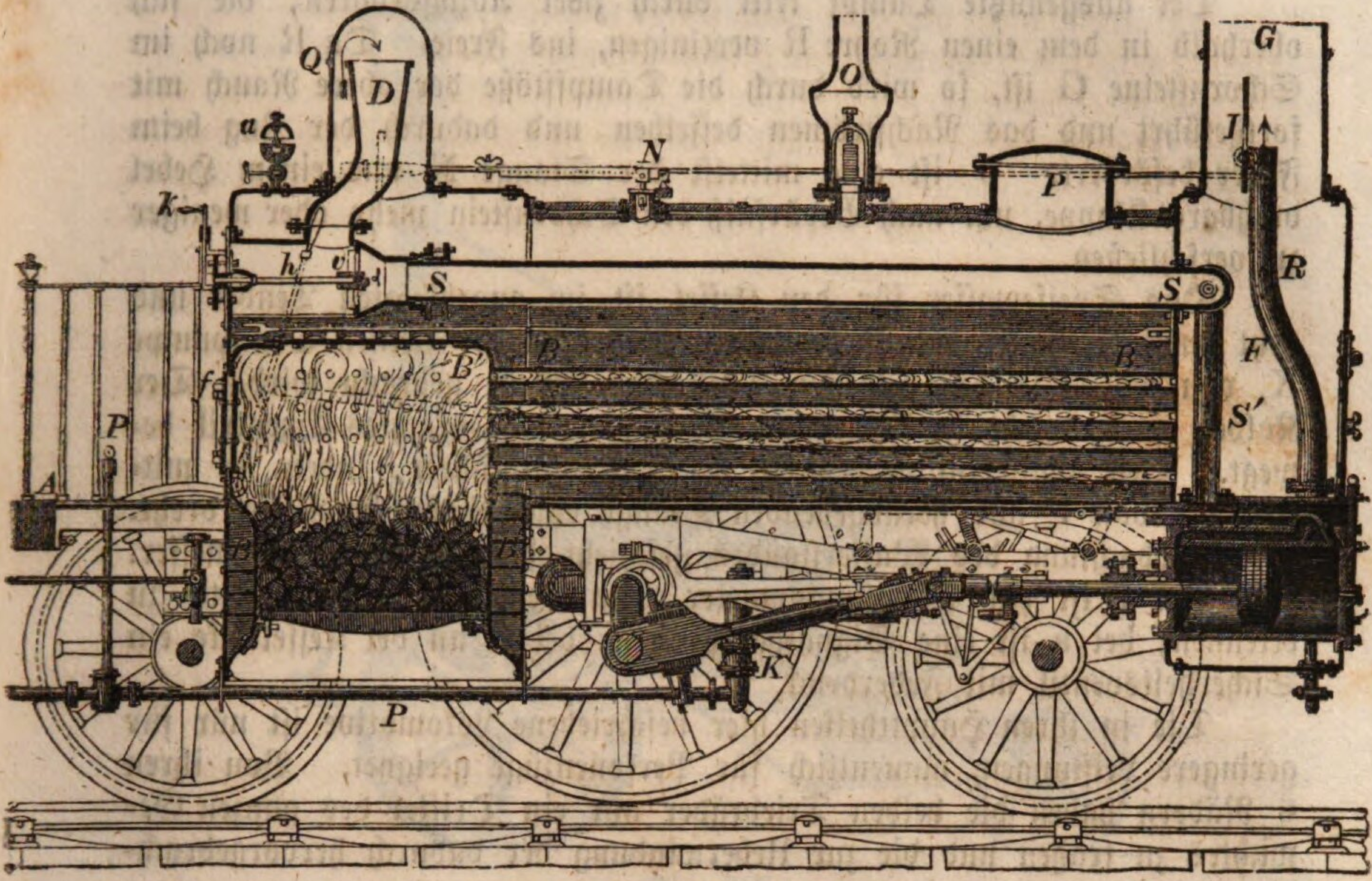
um fast ebensoviel, der eine nach links und der andere nach rechts gerückt, so daß n''' in derselben graden Richtung bleibt.

Das Schwungrad führt die Triebstange nicht nur über die beiden todten Punkte senkrecht oberhalb und unterhalb des Mittelpunktes der Welle W weg, sondern bewirkt auch eine gleichmäßige Kolbenbewegung, welche sonst in der Mitte des Zylinders schneller, als zu Anfange und gegen das Ende sein würde.

In Fig. 363 ist die perspektivische Ansicht einer Hochdruck-Maschine für kleinere Leistungen gegeben. Die Konstruktion und Bedienung der Maschine ist eine einfachere. Da die Pumpen hier nicht vorkommen, so ist der Balancier entbehrlich und die hin und her gehende Bewegung des Kolbens läßt sich einfacher in eine rotirende verwandeln, indem man die mit der Kolbenstange in Verbindung stehende Kurbelstange unmittelbar auf das Schwungrad wirken läßt.

Von b aus wird der Dampf zunächst in die Dampfbüchse B geleitet, von hieraus wird der Dampfzylinder gespeist; durch eine Stopfbüchse ragt die Kolbenstange k hervor, welche ein Querstück q (Querhaupt) trägt, an dessen beiden Enden mittelst Charnieren zwei parallele Stangen ss beweglich befestigt sind, die oben in eine S zusammenlaufen. An zwei gußeisernen Trägern sind zwei Paare gekreuzter Stangen rr befestigt, welche ein Querstück mit einer Hülse i tragen, durch welche die Kolbenstange sich auf- und abwärts schieben läßt, um dabei eine grade Richtung zu behalten. Die beiden Träger TT dienen oben der Axe des Schwungrades als Stütze; bei m ist diese gekröpft und trägt dort eine um sie bewegliche Scheibe, an welcher die Kolbenstange Sk befestigt ist. Beim Auf- und Abwärtsgehen des Kolbens geht die Vorrichtung Sss abwechselnd rechts und links und dreht dadurch die Axe des Schwungrades und es selbst. An dieser Axe ist bei n ein kegelförmiges Zahnrad, welches den Regulator R in Bewegung setzt, damit dieser durch das Gestänge xxx die unten befindliche Dampfklappe drehe; dann sind noch daran zwei Exzentriks e und e', von denen ersteres die Steuerung in der Dampfbüchse B bewirkt und letzteres Wasser hebt und es in den Kolben treibt. Durch c geht der Dampf nach seiner geleisteten Arbeit in die Luft.

Fig. 364 stellt den senkrechten Längendurchschnitt einer Lokomotive mit zwei Triebrädern dar (die anderen vier sind Laufräder). Die ganze Maschine hängt in einem starken sie umgebenden vierseitigen Rahmen A, von welchem hier ein Theil der hinteren Seite hervorragt; der Rahmen selbst ruht mit 6 Zapfenlagern auf den Axen der 3 Räderpaare und trägt noch den zylindrischen Kessel B mit seiner inneren Feuerung B', wozu f die Feuerthür ist. Die Feuerung ist bis auf die untere Wand allseitig mit Wasser umgeben. Von der Hinterwand des Kastens gehen hier 4 Reihen von mit Wasser umgebenen Kupferröhren, deren Anzahl oft über 100 beträgt, durch welche das Feuer zieht und welche alle in



(Fig. 364.)

den Raum F münden, der mit dem Schornsteine G in Verbindung steht. Ueber dem Dampfraume des Kessels steht die 2 bis 3 Fuß hohe Kuppel Q, in welcher ein Rohr D unterhalb der Decke mündet, dieses steht mittelst des durch die Kurbel k drehbaren Ventiles v mit dem durch die ganze Länge des Dampfraumes gehenden Rohre SS in Verbindung. Nach vorn verzweigt sich S in zwei herabgehende Röhren S', welche den Dampf in die beiden oberhalb der Zylinder liegenden Dampfbüchsen und durch diese in die Dampfzylinder selbst führen. Durch den Hebel h kann man bei beliebiger Kolbenstellung, also auch beim Stillstehen der Maschine, mittelst eines Hebelsystems und exzentrischer Scheiben den Dampf entweder nach vorn oder nach hinten zuerst einlassen und dadurch beziehungsweise die Maschine zurück oder vorwärts bewegen oder ihn auch ganz absperren.

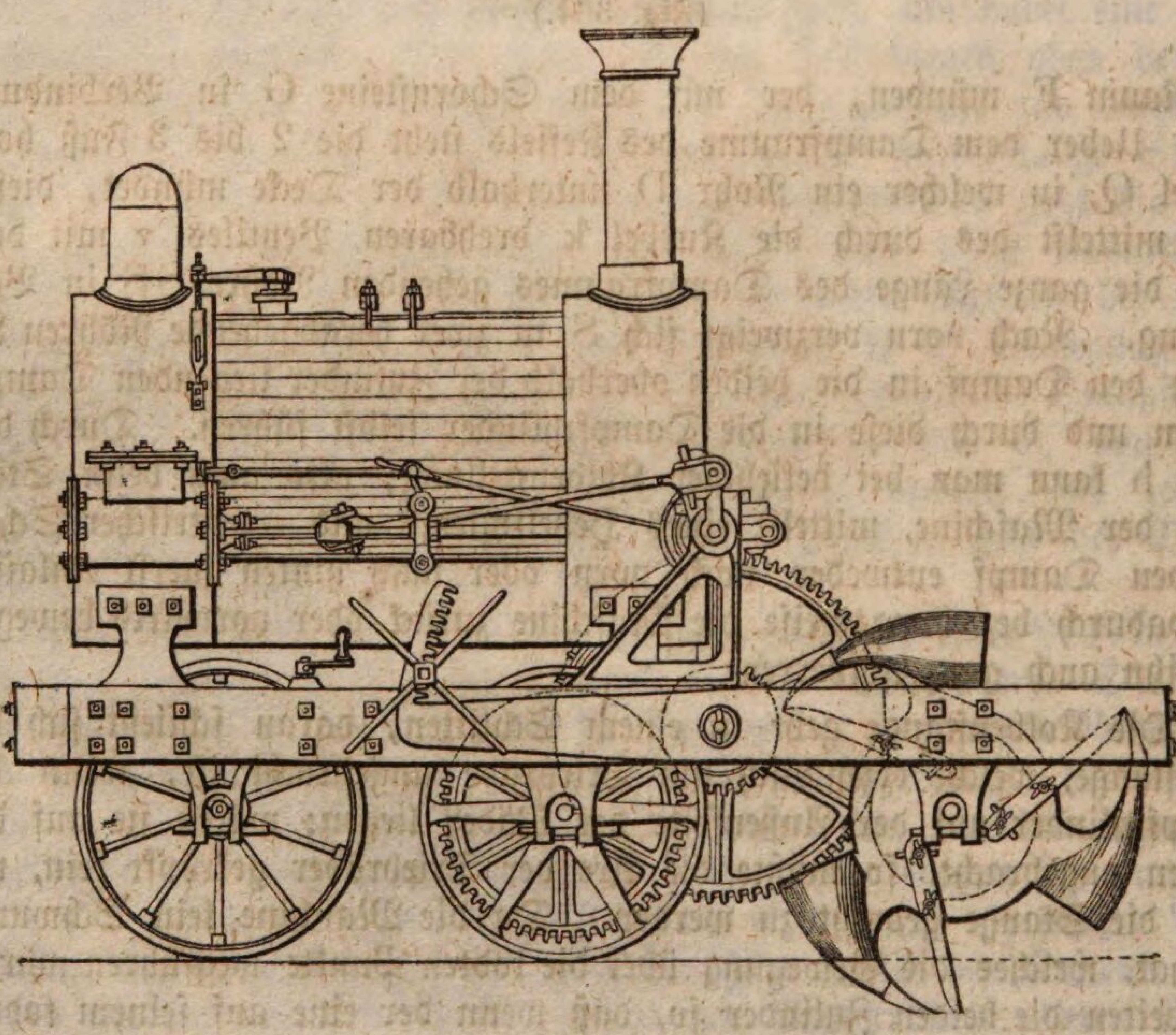
Die Kolbenstange geht in einem Schlitten, daran schließt sich die Triebstange, welche exzentrisch am Triebrade angebracht ist, wenn die Dampfzylinder auf der Außenseite der Räder liegen; wären sie auf der inneren angebracht, so müßte die Axe der Triebräder gekröpft sein, um durch die Stange gedreht zu werden. Da die Maschine kein Schwungrad hat, welches die Bewegung über die todten Punkte wegführen würde, so arbeiten die beiden Zylinder so, daß wenn der eine auf seinem todten Punkte angekommen, der andere in voller Bewegung ist.

Der ausgenutzte Dampf tritt durch zwei Abzugsröhren, die sich oberhalb in dem einen Rohre R vereinigen, ins Freie. Da R noch im Schornsteine G ist, so wird durch die Dampfstöße der obere Rauch mit fortgeführt und das Nachströmen desselben und dadurch der Zug beim Feuer befördert. J ist eine mittelst der Stange N und einem Hebel drehbare Klappe, um nach Bedürfniß den Schornstein mehr oder weniger zu verschließen.

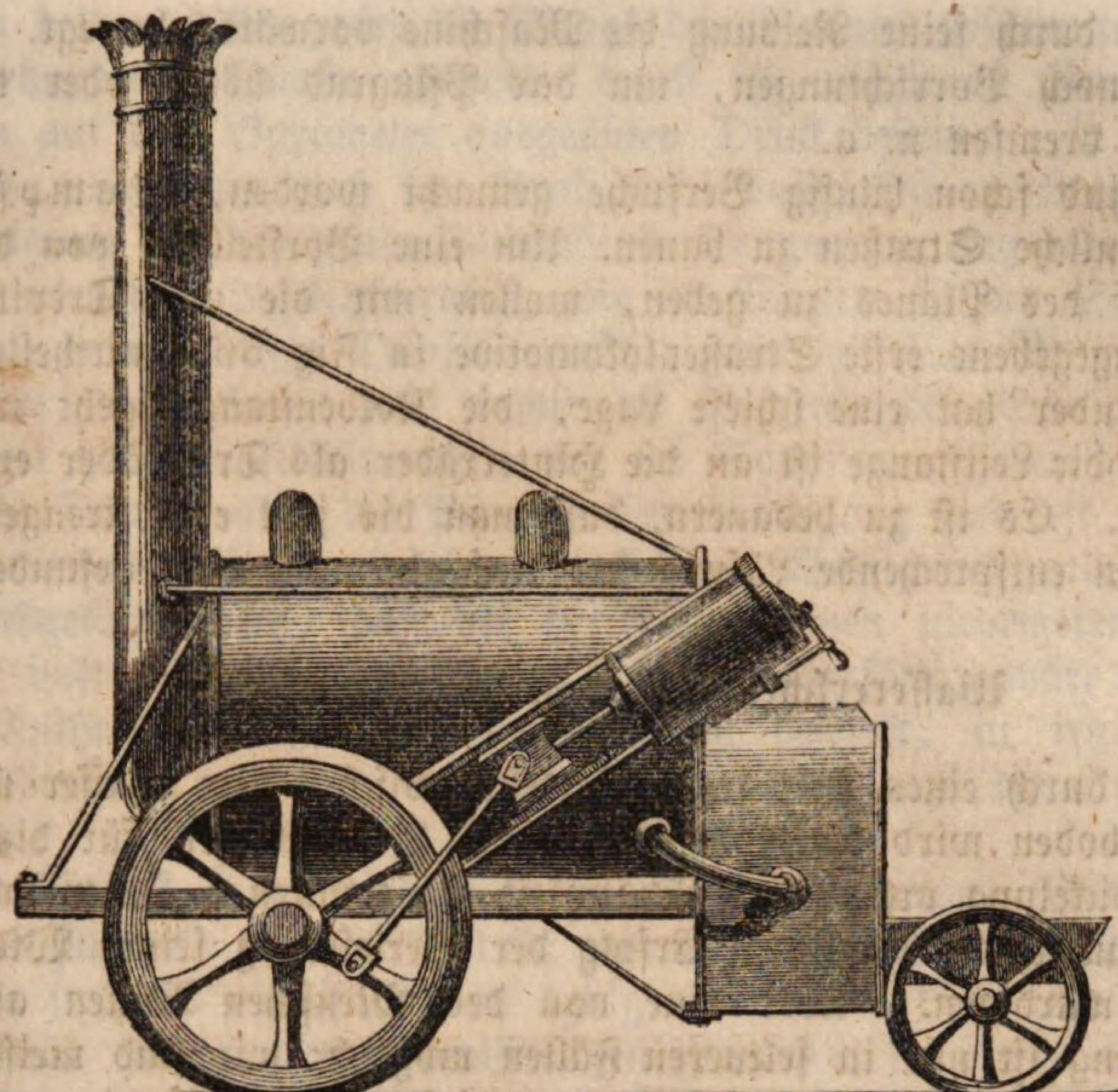
Das Speisewasser für den Kessel ist im angehängten Tender und geht durch die unten mit P bezeichnete Röhre zu der kleinen Druckpumpe K, von wo es in den heißesten Theil des Kessels gebracht wird. Der Kolben wird durch ein kleines an der Radaxe angebrachtes Exzentrik bewegt. Den Wasserzufluß bewirkt der Lokomotivführer, indem er mittelst der von P aus herabgehenden Stange einen Hahn im Rohre dreht. Die Beobachtung des Wasserstandes geschieht durch einen Standmesser.

Bei f ist ein Metallmanometer, um den Dampfdruck stets zu erkennen; bei a ist eine Signaldampfpfeife, bei O an der Kesseldecke ein Sicherheitsventil mit Federdruck.

Die in ihren Haupttheilen hier beschriebene Lokomotive ist nur für geringere Leistungen, namentlich für Personenzüge geeignet. Von ihren 6 Rädern haben die beiden Triebräder nur ein Drittel des ganzen Gewichtes zu tragen und die zur Ueberwindung der dadurch hervorgebrach-



(Fig. 365.)



(Fig. 366.)

ten Reibung erforderliche Kraft ist die Leistung der Maschine. Kann man bei demselben Gewichte der Maschine die Reibung vergrößern, so ist auch die Leistung eine größere. Dies geschieht, wenn von den 6 Rädern viere zu Triebrädern gemacht werden, indem man sie paarweise auf jeder Seite kuppelt, damit sie eine gleiche gemeinschaftliche Drehung annehmen. In diesem Falle ist die auf die Triebräder kommende Reibung zwei Drittel der ganzen. Die Reibung und somit die Leistungsfähigkeit der Maschine wird vergrößert durch Vermehrung ihres eigenen Gewichtes. Während man bei stehenden Dampfmaschinen die Leistung auf 4 bis 5 Tausend Pferdekraft gesteigert hat, wird sie bei Lokomotiven immer nur eine unbedeutende sein können.

Es würde zu weit führen, wenn wir auch nur den geringeren Theil der außerordentlich mannigfaltigen und sinnreichen Anwendungen der Dampfkraft anführen wollten. Wir begnügen uns mit noch zwei Fällen.

Fig. 365 stellt einen Dampfflug dar. Der Dampf muß hierbei zweierlei leisten, nämlich pflügen und der Maschine zugleich eine fortschreitende Bewegung geben. Das Hauptrad ist das im Hintergrunde sichtbare Stirnrad, an dessen Welle ein Getriebe ist; seine Zähne setzen das Pflugrad mit seinen Vorschneidemessern und Pflugscharen in Bewegung und das Getriebe wirkt auf ein Doppelrad, welches auf dem inneren kleineren Umfange Zähne hat, welche durch die Triebstöcke bewegt werden, während es an dem äußeren Umfange den Erdboden be-

rührt und durch seine Reibung die Maschine vorwärts bewegt. Außerdem sind noch Vorrichtungen, um das Pflugrad höher oder tiefer zu stellen, zu bremsen u. a.

Es sind schon häufig Versuche gemacht worden, Dampfwagen für gewöhnliche Straßen zu bauen. Um eine Vorstellung von der Ausführbarkeit des Planes zu geben, wollen wir die von Trevithik und Vivian angegebene erste Straßenlokomotive in Fig. 366 mittheilen. Der Dampfzylinder hat eine schiefe Lage, die Kolbenstange geht in einem Schlitten, die Leitstange ist an die Hinterräder als Triebräder exzentrisch angebracht. Es ist zu bedauern, daß man bis jetzt eine strengeren Anforderungen entsprechende Lösung der Aufgabe noch nicht gefunden hat.

Wassererscheinungen in der Atmosphäre.

Nur durch einen stets regen Verkehr zwischen dem Wasser und dem festen Erdboden wird dieser befähigt, alle Bedingungen für die gedeihliche Entwickelung organischer Thätigkeit zu erfüllen. Jeder Landwirth weiß den ungemein günstigen Erfolg der Berieselung seiner Wiesen und Aecker zu würdigen. Aber eine von des Menschen Willen abhängige Bewässerung ist nur in seltneren Fällen möglich; wir sind meistens auf die Wasserspenden der Atmosphäre angewiesen. Dort ist ein ewig reges Leben zur Vermittelung des Verkehres zwischen Land und Wasser. Die verschiedenen Gewässer der Erde und der feuchte Erdboden selbst dünsten aus, die Dünste steigen in die Atmosphäre, werden hierin durch die Winde auf oft ungeheur weite Strecken fortgeführt, erleiden eine Verwandlung und erscheinen an der Erdoberfläche als verschiedenartige Niederschläge: Nebel, Wolken, Regen, Schnee, Graupelregen, Glatteis, Thau, Hagel, welche man Hydrometeore nennt.

Wenn auch der Druck der Atmosphäre auf eine Flüssigkeit den Siedepunkt derselben von ihrer Temperatur abhängig macht, so ist er doch nicht im Stande, die langsamere Verwandlung in Dünste an ihrer Oberfläche zu verhindern. Die Luft nimmt in einem bestimmten Raume ebensoviele Dämpfe bis zur Sättigung auf, als wenn dieser Raum luftleer wäre, wenn nur die Temperaturen beider dieselben sind; der einzige Unterschied ist nur der, daß die Dampfentwickelung in einem lufterfüllten Raume langsamer geschieht, als im luftleeren. Wir dürfen aber nicht meinen, daß die Dünste ohne das Vorhandensein der Atmosphäre in den Weltraum sich entfernen würden; denn sie sind dem Gesetze der Schwere unterworfen und würden auch für sich eine Dunsthülle um die Erde bilden.

Wenn wir von der Feuchtigkeit der Luft sprechen, so können wir sie entweder auf die Menge des überhaupt als Dunst in der Luft vorhandenen Wassers beziehen und das ist die absolute Feuchtigkeit, oder auf den Grad der Dunstsättigung, d. i. die relative Feuchtig-

keit. In beiden Fällen wird die Menge der in einem bestimmten Raume grade vorhandenen Dünste entweder durch ihr absolutes Gewicht oder durch den auf das Barometer ausgeübten Druck bestimmt; in dem letzteren Falle aber kann auch der Grad der Feuchtigkeit in Prozenten der Dunstsättigung für die grade stattfindende Temperatur angegeben werden.

Bei niedriger Lufttemperatur, wie im Winter, ist der Sättigungsgrad schon durch wenige Dünste erreicht; ihre absolute Menge ist geringe, aber die relative und somit die Prozente der Sättigung sind groß. Bei hoher Lufttemperatur, wie im Sommer, gehören zur Sättigung viele Dünste, aber die Prozente der Sättigung sind oft gering.

Wenn nun bei irgend einem beliebigen Sättigungsgrade die Luft so weit abgekühlt wird, daß bei der eingetretenen niedrigeren Temperatur die Luft mit den vorhandenen Dünsten übersättigt wäre; so muß sich der Antheil, welcher die Uebersättigung bewirkt, in irgend einer Form kondensiren und als wässriger Niederschlag aus der Atmosphäre abscheiden.

Der Nebel ist die nächste Form der Kondensation. Für den Erfolg ist es einerlei, ob kalte Luft in warme dunstreiche tritt oder umgekehrt diese in jene. Oeffnet man bei großer Winterkälte eine ins Freie gehende Thür eines warmen dunstreichen Zimmers, so scheint ein dichter Nebel, Schwaden, in das Zimmer zu dringen; in Wirklichkeit dringt nur kalte, wenige Dünste enthaltende Luft in die warme dunstreiche Stubenluft und verwandelt den unsichtbaren Wasserdampf in die aus hohlen Wasserbläschen bestehende Uebergangsform zu tropfbarem Wasser. In gleicher Weise wird der aus einem warmen Dampfrohr ins Freie tretende Dampf anfänglich als Nebel sichtbar, bis er sich nach und nach, bei trockener Luft schneller, als bei feuchter, so vertheilt, daß er unsichtbar wird. — Wenn die dunstreiche Luft über Gewässern und feuchten Niederungen nach Sonnenuntergang sich abkühlt, so lagert sich ein Nebel auf die Landschaft, welcher häufig erst der Morgensonne weicht; die abends noch aufsteigenden Dünste kondensiren sich in der kälteren Luft. — In Gebirgsthälern wird der Nebel häufig durch die von den umgebenden Berglähnen herabfließende kalte Luft gebildet. — Im Herbste besonders bilden sich über großen an sich trockenen und ebenen Länderstrecken oft ziemlich plötzlich dadurch Nebel, daß ohne einen bemerkbaren Wind aus den höheren Schichten kalte Luft in die untere warme und dunstreichere sinkt. Auf eine solche Weise entstehen die bekannten und oft außerordentlich dichten Nebel über England. — Die dunstreiche Luft über den warmen Gewässern des Golfstromes erzeugt mit der kalten von Norden her kommenden Luft noch über Neufoundland dichte Nebel.

Der Nebel fällt, wenn die untersten Luftschichten und der Erdboden noch eine längere Zeit nach dem Sonnenaufgange kälter sind, als die höheren; er steigt und verschwindet an der Erdoberfläche, wenn er durch einen warmen Luftstrom nach oben geführt wird und die Luft hier

noch nicht gesättigt ist. In noch höheren kälteren Schichten erscheint er dann wieder als Wolke. Der fallende Nebel deutet auf heiteres Wetter, weil durch ihn die Luft von Dünsten befreit wird; der steigende auf trübes oder Regenwetter, weil durch ihn die Luft mit Dünsten mehr versorgt wird.

Die sogen. trockenen Nebel, welche unter den Namen Heide- oder Höhenrauch im nördlichen Deutschland bekannt sind, gehören nicht hierher, weil ihre Bestandtheile nicht wässriger, sondern fester Natur sind.

Die Wolken. In Gebirgen sieht man von einem Thale aus sehr häufig Wolken an den höheren Theilen der Berge gelagert; besteigt man die Berge, so kommt man in einen mehr oder weniger dichten Nebel und wenn man diesen durchwandert ist, so hat man unter sich Wolken. Die Wolken sind also nichts anderes, als in der Höhe der Atmosphäre schwebende Nebel von verschiedener Gestalt und Dichtigkeit. Die zartesten, meist im Sommer nur vorhandenen und sehr hoch schwebenden, heißen Federwolken; sind sie ziemlich horizontal abgegränzt, so sind es Schichtwolken; haben sie eine bedeutende Höhe und erkennt man ihre seitliche, sehr unregelmäßige Abgränzung, so sind es Haufenwolken. Aus diesen drei Grundformen sind andere zusammengesetzt, z. B. die haufigen Federwolken oder sogenannten Lämmchen, welche oft in sehr großer Anzahl den sonst heiteren Himmel bedecken.

Häufig, namentlich im Sommer, kann man sehen, wie in der Höhe sich Wolken bilden und wie sie wieder verschwinden; namentlich wenn zwei ungleich warme sanfte Winde einander stauen: dringt der kalte in den warmen, so entstehen Wolken; überwiegt die Kraft des warmen, so verschwinden sie. Auf diese Weise entstehen häufig eine ganze Menge von parallelen Wolkenstreifen. Es ist daher natürlich, daß beim plötzlichen Umschlagen des Windes je nach der Windrichtung, seiner Temperatur und dem Dunstsättigungsgrade auch das Wetter umschlägt.

Wenn warme dunstreiche Luftströme auf hohe Berge mit einer niedrigeren Temperatur treffen, so bilden sich an ihnen Wolken, welche meistens daran hängen bleiben und einen großen Theil ihres Wasserreichthumes absetzen, wodurch die Menge der Quellen und Bäche in Gebirgen erklärlich ist.

Der Regen. Wenn in einer Wolke die hohlen Dunstbläschen einander sehr nahe sind und durch weitere Abkühlung der Luft einander noch näher kommen, so ziehen benachbarte einander an und geben ein volles Wasserkügelchen; dieses zieht wegen seiner größeren Masse noch andere hohle Dunstkügelchen an und wird dadurch so schwer, daß die Luft es zu tragen nicht mehr vermag; es fällt und beim Fallen verbinden sich noch andere auf seinem Wege liegende mit ihm und wir haben nun lauter fallende Wassertropfen, die in ihrer Gesammtheit den Regen geben.

Je höher die Regenwolken liegen, je dichter sie sind und je mehr die Luft unter ihnen mit Dünsten gesättigt ist, desto größer und zahlreicher sind die Regentropfen: sie sind also bei uns im Sommer und in den Tropengegenden überhaupt am größten. Von je größerer Höhe sie herabfallen, desto schneller bewegen sie sich und daher scheint es bisweilen, als ob es nicht Tropfen, sondern Wasserfäden regnete.

In der heißen Zone ist bei der Beschränkung der Jahreszeiten und der Regelmäßigkeit der Winde nur eine trockene und eine nasse Jahreszeit; mit der Entfernung vom Aequator wächst die Veränderlichkeit des Klimas und somit die Anzahl der jährlichen Regentage; in den Polargegenden tritt wieder eine Einförmigkeit der Niederschläge ein. Im Allgemeinen wächst die Menge des Regens für Orte unter derselben geographischen Breite mit der Annäherung zum Meere. An der steilen Westküste von Malabar bringen während unseres Winters die Südwestmonsoons, an der Ostküste Koromandel die Nordostmonsoons die Regenzeit, während die andere Küste in beiden Fällen die trockene Jahreszeit hat.

Ist die Luft sehr warm, die Menge der in ihr enthaltenen Dünste sehr groß und tritt eine plötzliche Abkühlung ein, wie bei Gewittern, so entstehen Platzregen, Gewitterregen und Wolkenbrüche, welche eine zwar nicht weite Ausdehnung haben, durch ihre großen Wassermassen aber sehr gefährlich werden können. Ist ein mäßiger Regen über nicht große Länderstriche in nicht bedeutender Ausdehnung verbreitet, so heißt er ein Strichregen; nimmt er aber sehr große Strecken ein, so ist es ein Landregen. Machen sich Verschiedenheiten der Bodenbeschaffenheit bei der Abgränzung der Regen geltend, so nennt man die Gränzstriche derselben Wetterscheiden.

Da der gelbe und rothe Blüthenstaub der oft in ungeheurer Menge gleichzeitig blühenden Gewächse, sowie die schwarzen Bestandtheile des Rauches und andere kleine Körper sehr hoch in die Atmosphäre mitgenommen und durch die Winde fortgeführt werden, so spricht man von Schwefelregen, Blutregen, schwarzem Regen, ohne daß wir bei ersteren an Schwefel und Blut als ihre Bestandtheile denken dürfen. — Bei Gewitterregen ist die durch den Regen mit herabgeführte und durch die Elektrizität erzeugte Salpetersäure für das Gedeihen der Vegetation vorzüglich geeignet.

Der Schnee. Wenn die Luft unter 0° abgekühlt ist und es gelangen Wasserdünste in sie, so bilden sich Eiskrystalle von den herrlichsten Gestalten (Vergl. Bd. I., S. 96). Wenn diese Krystallbildung in höheren Schichten der Atmosphäre durch eine Vermischung sehr dunstreicher Luft mit sehr kalter stattfindet, so verbinden sich beim Fallen viele benachbarte Krystalle zu einem losen, aber zusammenhängenden Gebilde, einem Schneeflocken. Die Schneeflocken werden natürlich auch um so größer, je dunstreicher die Luft, je durchgreifender ihre Abkühlung

unter 0° ist und aus je größeren Höhen sie unter diesen Umständen fallen. — Je kälter es ist, desto kleiner sind die Flocken und die stärksten Schneefälle entstehen bei verhältnißmäßig nicht sehr kalter Luft.

Die Schneebildung hängt nicht blos von der geographischen Breite eines Ortes ab und der Jahreszeit, welche er hat, sondern auch von seiner absoluten Höhe, d. h. von seiner Erhebung über den Meeresspiegel, welchen wir uns nach der kugelförmigen Gestalt auch unter die Festländer erweitert denken müssen.

In der Nähe des Aequators schneet es nur auf hohen Bergen (Reisende sind bereits bis zu dieser Höhe gelangt), in der Polarzone fällt nur Schnee. Es gibt über jedem Punkte der Erdoberfläche eine Gegend, in welcher nicht nur blos Schnee fallen kann, sondern in welcher derselbe auch niemals aufthaut und dies ist die Schneegränze. Sie bildet eine krumme Fläche, welche unter dem Aequator am höchsten (in Amerika 15000′, in Afrika 16000′) liegt, sich gegen die Pole mehr und mehr herabsenkt und etwa bis 80° Breite die Erdoberfläche berührt. Unterhalb derselben schmilzt der gefallene Schnee.

In manchen tiefen Gebirgsthälern unterhalb der Schneeregion kann der Schnee nicht völlig schmelzen; die Tageswärme macht wohl, daß er etwas zusammensintert, aber es tritt bald wieder die Kälte der Nacht ein, welche die Masse körnig macht; darauf schneet es wieder, dieselben Umstände wiederholen sich und so entstehen die aus einer klaren Eismasse bestehenden Gletscher, an deren Sohle die Erdwärme beständig zehrt und Wassermassen erzeugt, während sie oberhalb sich erneuern und eine fortschreitende Bewegung haben.

Auf hohen steilen Gebirgen bilden sich bisweilen die oft so furchtbar zerstörenden Lawinen, indem sich am Gipfel steiler Höhen etwas Schnee ablöst, beim Herabgleiten sich durch häufig massenhaft vorhandene Schneelager vergrößert und nun bei großer Geschwindigkeit Alles mit sich fortreißt. Die umgebende Luft wird ebenfalls heftig bewegt.

Die Graupeln. Gegen das Ende des Winters (im März, April) fängt die Luft zunächst der Erdoberfläche an, sich schon mehr zu erwärmen und bleibt im Herbste (Oktober, November) noch wärmer, als in etwas höheren Schichten. Wenn sich also in den letzteren Schneeflocken gebildet haben, so werden dieselben beim Herabkommen in die wärmere Luft etwas zusammenfallen und sich dabei abrunden, aber ohne zu schmelzen. Es fallen also lauter ziemlich lose Schneekügelchen zur Erde und wir haben einen Graupelregen, welcher auch mit Regen gemischt sein kann, selbst in einen wirklichen Regen übergeht, bisweilen aber der Vorgänger von Schnee ist.

Glatteis. Dringt bei Kälte an der Erdoberfläche der warme Südwind in der Höhe schnell ein, so verwandelt sich der entstandene Regen schon beim Fallen in Eisnadeln und der noch bis an den kalten Erdboden herabkommende Regen verwandelt sich dort in Eis, welches

Alles überzieht. Entweder findet dabei ein Nordoststurm statt oder es steht ein Südweststurm mit niedrigem Barometerstande in Aussicht. — Bei plötzlich nach großer Kälte einbrechenden warmen Luftströmungen beschlagen die Gegenstände, namentlich die schlechten Wärmeleiter, wie z. B. Mauerwerk, d. h. es bildet sich eine Lage von feinen Eisnadeln an ihrer Oberfläche. Ist die Temperatur der Gegenstände nicht unter 0°, so werden sie nur naß.

Der Thau entsteht nur in sternhellen Nächten bei Windstille unter ganz freiem Himmel; ist aber auch nur eine der drei Bedingungen nicht vorhanden, so bleibt er aus. Er besteht aus Wasserperlen, welche sich an die Spitzen und Kanten der Grashalme und Blätter aller am Erdboden wachsenden Gewächse und guten Wärmeleiter in oft bedeutender Menge absetzen. Unter Bäumen und Bedachungen entsteht er niemals.

Die am Tage an der Erdoberfläche im Sommer sich lebhaft bildenden Dünste können sich nur an jene Gegenstände absetzen, wenn sie bis unterhalb des Dunstsättigungsgrades der sie umgebenden Luft sich abkühlen. Diese Abkühlung geschieht aber nicht durch Mittheilung, sondern durch Strahlung. Geschähe sie durch jene, so würde der Thau sich grade beim Winde nnd auch an allen übrigen dadurch abgekühlten Gegenständen bilden müssen. Die Strahlung in den Weltraum findet nur bei klarem Himmel statt; sie wird durch die Wolken, durch Bäume und Bedachungen abgehalten. Wenn auch am Tage bei heiterem Himmel Strahlung vorhanden ist, so findet, wenn auch kein Wind, doch immer eine aufsteigende schwache Luftströmung statt, welche die durch die Strahlung entstandene Abkühlung wieder verwischt. Trübe Winter sind warm, weil eine Ausstrahlung nicht stattfindet. Weil die Spitzen und Kanten im Verhältnisse zu dem umschlossenen Stoffe eine große Oberfläche darbieten, kühlen sie durch die Strahlung am meisten ab, also setzt sich der Thau vorzüglich an ihnen an; auf festen Wegen findet sich daher kein Thau. — Wenn Manche meinen, daß der Thau nur bei Mondschein entstehe, so haben sie zufällig nur dann recht, wenn bei heiterem Himmel und Windstille grade Mondschein ist. Der Mond selbst ist an der Erscheinung ganz unschuldig.

Der Thau ist in vielen Gegenden sehr bedeutend, z. B. im nördlichen Afrika, und eine wesentliche Quelle für das Gedeihen der Vegetation in der trockneren Zeit.

Der Reif hat dieselbe Ursache und entsteht natürlich nur, wenn die Abkühlung bis unter 0° erfolgt ist. Im Sommer kann es zuerst Thau gegeben haben, dieser ist dann gefroren und an das Eis haben sich dann weiter feine Eisnadeln angesetzt. Bildet er sich selbstständig, so zeigt er sich auch an schlechten Leitern, z. B. dem Holze, so daß z. B. die Straßenbrücken vorzüglich weiß sind.

Gesammtniederschläge. Es ist zur Beurtheilung der meteorologischen Verhältnisse verschiedener Gegenden nicht unwichtig, die Menge der sämmtlichen wässrigen Niederschläge und ihre Vertheilung auf die verschiedenen Zeiten des Jahres kennen zu lernen. Man stellt zu diesem Zwecke Regenmesser im Freien so auf, daß von allen Seiten die Niederschläge sie treffen. Zwischen einem dreifüßigen Gestelle befindet sich ein Metallgefäß, dessen obere Oeffnung genau einen pariser Quadratzoll groß ist; seine vier Seitenwände gehen weder gleich lothrecht, noch nach innen zusammenlaufend herab, sondern von den oberen Kanten an sofort nach außen bauchig, damit vom Winde schief getriebener Regen nicht herausspritze; dann verjüngt sich das Gefäß zu einer engen Oeffnung, durch welche der Regen u. s. w. in ein angeschraubtes Sammelgefäß mit einem unten befindlichen Hahne lauft; durch letzteren erfolgt die Messung in einem in ganze und Zehntel Kubikzolle eingetheilten Glaszylinder.

Weiß man die Menge der Niederschläge in Kubikzollen, welche auf einen Quadratfuß Oberfläche kommen; so läßt sich leicht die Regenhöhe berechnen, d. h. wie hoch die Erdoberfläche bedeckt sein würde, wenn das Wasser weder eingesickert, noch verdunstet wäre. Sie beträgt nach einer langen Beobachtungszeit für Berlin gegen 22, für die ganze Erdoberfläche etwa 30 Zoll.

Vierter Abschnitt.

Von der Elektrizität.

Wir haben früher (Bd. II. S. 19) der allgemeinen Uebersicht wegen nur die wesentlichsten Erscheinungen, welche man elektrische nennt, und auch nur die Reibung, als die eine Methode, sie hervorzurufen, kennen gelernt. In diesem Abschnitte wollen wir der Sache näher treten und außer der Elektrizität durch Reibung auch die durch Atombewegung untersuchen.

A. Elektrizität durch Reibung.

Zunächst zeigt die Erfahrung, daß durch Reibung nicht alle Körper elektrisch werden und dann, daß die elektrischen untereinander in einem Gegensatze stehen.

Leitungsfähigkeit. Wird eine in der Hand gehaltene Siegellackstange (oder eine Glasstange) an einer Stelle mit trockenem wollenem Zeuge gerieben, so zeigt sie sich nur an der geriebenen Stelle elektrisch, an den anderen aber nicht; reibt man eine Metallstange mit irgend einem Körper, so zeigt sie keine Spur von Elektrizität. Jene ist

also zwar zur Entwickelung der Elektrizität fähig, verbreitet oder leitet sie aber von der geriebenen Stelle nicht weiter fort; diese ist entweder unfähig, an sich die Elektrizität entwickeln zu lassen, oder, wenn es der Fall ist, so leitet sie dieselbe im Augenblicke der Entstehung auch sofort weiter, wozu dann der menschliche Körper auch behilflich sein müßte, um sie in den Erdboden zu führen.

Um die Frage zu entscheiden, mache man sich zwei Kügelchen aus dem Marke der Sonnenrosenstaude, hänge das eine an einen Faden aus Siegellack (Schellack, Glas, Seide), das andere an einen Metallfaden. Nun bringe man sie nach einander mit der geriebenen Stelle der Siegellackstange in Berührung, und es zeigt sich, daß dadurch nur das erste Kügelchen Elektrizität angenommen und behalten hat, das zweite muß sie zwar auch angenommen haben, läßt aber keine Spur davon erkennen, es hat sie also der Metalldraht fortgeführt. Daraus ergibt sich: Siegellack ist ein Nichtleiter, Metall ein Leiter für die Elektrizität; wenn man sie in der Hand hält, so kann an jenem die Elektrizität durch Reibung erzeugt werden, an diesem nicht.

Wenn man an den einen von zwei Seidenfäden (Kokonfäden, wie sie die Seidenraupe spinnt) eine kleine Harzkugel, an den anderen eine Metallkugel hängt und nun diese Kugeln nach einander an einer einzelnen Stelle mit einer Elektrizitätsquelle in unmittelbare Berührung bringt; so zeigt sich die Harzkugel nur an der berührten Stelle, die Metallkugel aber auf ihrer ganzen Oberfläche elektrisch. Neben der Bestätigung der vorigen Behauptung erkennen wir hierbei, daß die Seide ein Nichtleiter ist.

Schließt man das eine Ende einer Glasröhre durch einen feuchten Kork, steckt man durch diesen einen Metalldraht, welchen man eine weite Strecke fortführt und mit einer kleinen Kugel endigen läßt, und reibt man dann die Glasröhre in der Nähe des Verschlusses mit einem Lederflecken, auf welchem etwas Amalgan (4 Thle. Quecksilber, 2 Thle. Zinn, 3 Thle. Zink) gestrichen ist; so zeigt sich die Kugel sofort elektrisch. Unterbricht man den Metalldraht durch ein Stück trockene Seidenschnur, so zeigt sie keine Spur von Elektrizität.

Auf eine solche und ähnliche Weise läßt sich die Leitungsfähigkeit der verschiedenen Körper untersuchen. Wird ein elektrischer Leiter von einem anderen und mit dem Erdboden in Verbindung stehenden Leiter berührt, so verliert jener seine ganze Elektrizität; wird aber ein elektrischer Nichleiter ebenso berührt, so verliert er die Elektrizität nur an der berührten Stelle. Je schneller und vollständiger ein elektrischer Körper bei der Berührung durch einen anderen mit der Erde in Verbindung stehenden seine Elektrizität verliert, desto bessere Leiter sind beide.

Wenn auch unter den verschiedenartigen Körpern in Beziehung auf die Leitungsfähigkeit eine scharfe Gränze nicht gezogen werden kann, so

darf man doch eine gewisse Reihe als gute, eine andere als schlechte Leiter bezeichnen. Die Leitung der Körper für den Schall, das Licht und die Wärme war ja auch sehr verschieden

Zu den Nichtleitern oder sehr schlechten Leitern der Elektrizität gehören außer dem Siegellack alle harzigen Körper, wie Schellack, Kolophonium, Bernstein, Guttapercha, arabisches Gummi, Pech, dann Schwefel, Glas, Porzellan, Seide, trockenes Holz, Elfenbein, Maschinenpapier, Wachs, Phosphor, Federn, Haare, trockene Luft; zu den Leitern: Wasser und alle wasserhaltigen Körper, also auch sehr feuchte Luft, alle thierischen und vegetabilischen Flüssigkeiten und somit alle lebenden Thiere und Pflanzen, alle Säuren, die meisten Salze und ihre Lösungen, Kohle, die Erze, besonders aber alle Metalle und der ganze Erdkörper. Sind feste Nichtleiter in den tropfbaren Zustand übergegangen, so sind sie zu Leitern geworden.

Man kann an einem Leiter nur dann die an ihm entwickelte Elektrizität erkennen, wenn er ringsum von Nichtleitern umgeben, d. h. wenn er isolirt ist. Stehen oder sitzen wir auf einem Stuhle, dessen Füße aus Glas bestehen, welches mit einem Firniß überstrichen ist, um es stets trocken zu erhalten und ist die umgebende Luft auch trocken, so sind wir selbst isolirt und fähig, alle elektrischen Erscheinungen an uns entwickeln und erkennen zu lassen. Jener Stuhl heißt ein Isolirstuhl. Statt dessen könnte man sich auf ein Brett stellen, welches in seidenen Schnüren hängt oder auf einem Harzkuchen von hinreichender Stärke.

Wenn nun durch Reibung nicht alle Körper elektrisch sich zeigen, so dürfen wir nach den soebengemachten Erfahrungen doch noch vermuthen, daß sie wohl auch elektrisch werden, aber ihre Elektrizität nicht zeigen können, wenn sie Leiter sind und nicht schon während der Reibung isolirt werden. Und in der That werden zwei Körper, welche irgend eine Verschiedenheit nach Stoff, Mischungsverhältniß, Härte, Politur, Form, Farbe, Temperatur u. s. w. nicht nur beim Reiben aneinander, sondern auch beim Drücken aufeinander, beim Berühren und selbst beim Annähern aneinander elektrisch, wenn auch der Grad ein oft so geringer ist, daß er nur durch besondere Mittel erkannt werden kann.

Elektrischer Gegensatz. Bevor wir aber darauf eingehen, müssen wir einen in der Elektrizität selbst liegenden Gegensatz kennen lernen. Hängen wir zwei gleich große Kügelchen von Sonnenrosenmark an Kokonfäden nebeneinander auf und bringen sie mit einer Siegellackstange in Berührung, welche mit Wollenzeug gerieben worden ist, so gehen sie sofort auseinander und bleiben um so länger in größerer Entfernung stehen, je trockener die Luft ist. Haben sie ihre ursprüngliche Entfernung wieder erlangt oder hat man sie durch Berührung mit einem Leiter unelektrisch gemacht, reibt man dann eine Glasstange mit demselben Zeuge und berührt man die Kügelchen mit ihr; so gehen

sie wieder, wie vorhin, auseinander und diese Erscheinung bietet gegen die vorige nichts Neues. Wenn man aber das eine Kügelchen mit dem geriebenen Siegellack, das andere mit dem geriebenen Glase berührt hat, so eilen dieselben aneinander und man sieht im Finstern sogar einen Lichtschein, wenn sie recht stark elektrisch sind, und ihre Elektrizität ist verschwunden. Daraus ergibt sich, daß die Elektrizität nicht etwas in sich Uebereinstimmendes ist, sondern daß sie einen Gegensatz oder zwei einander entgegengesetzte Kräfte enthält, welche einander aufzuheben vermögen.

Man nannte früher die eine Glaselektrizität, die andere Harzelektrizität, und wenn andere Körper sich elektrisch zeigten, so konnte man leicht erkennen, ob sie Harz- oder Glaselektrizität besaßen, denn jene muß ein durch Glas, welches mit Wolle gerieben worden, elektrisirtes und isolirtes Kügelchen abstoßen, diese es anziehen. Man kann natürlich die Prüfung auch durch Harzelektrizität vornehmen.

Weitere Untersuchungen ließen aber erkennen, daß an jedem Körper jede Elektrizität entwickelt werden könne und daß man daher eine passendere Benennung für die beiden sich entgegengesetzt äußernden elektrischen Kräfte einführen müsse. Man nennt demnach die an dem Glase mittelst eines Wollenfleckens hervorgerufene Elektrizität positiv (bezeichnet mit + E), die an dem Siegellack durch einen ebensolchen Flecken erzeugte negativ (bezeichnet mit — E) und bestimmt darnach, ob sich irgendwie zeigende Elektrizität mit jener oder mit dieser übereinstimmend ist. Positive und positive einerseits, negative und negative Elektrizität andererseits sind gleichnamig, negative und positive aber ungleichnamig. Demnach wird das oben aufgefundene Gesetz der Anziehung und Abstoßung jetzt allgemein heißen:

> gleichnamige Elektrizitäten stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

Als Beispiele davon, daß jeder Körper jede Elektrizität annimmt, wollen wir nur anführen: Seide wird gerieben mit Siegellack positiv, mit Glas aber negativ; Harz wird durch ein metallisches Amalgam positiv, durch ein thierisches Fell negativ; glattes Glas wird positiv, mattgeschliffenes negativ, wenn man mit einer trockenen Hand reibt.

Es nimmt also jeder Körper nicht nur jede Elektrizität an, sondern besitzt sie schon und es kommt nur auf die Umstände an, ob die eine oder die andere unmittelbar hervortritt. Es ist in dieser Beziehung ein zweites und durchgreifendes Gesetz festzuhalten:

> von zwei aneinander geriebenen oder miteinander zur Berührung kommenden Körpern wird der eine positiv, der andere negativ elektrisch.

Es ist natürlich, daß die Körper isolirt sein müssen, um dieses erkennen zu lassen. Hält man z. B. zwei Scheiben aus verschiedenartigen

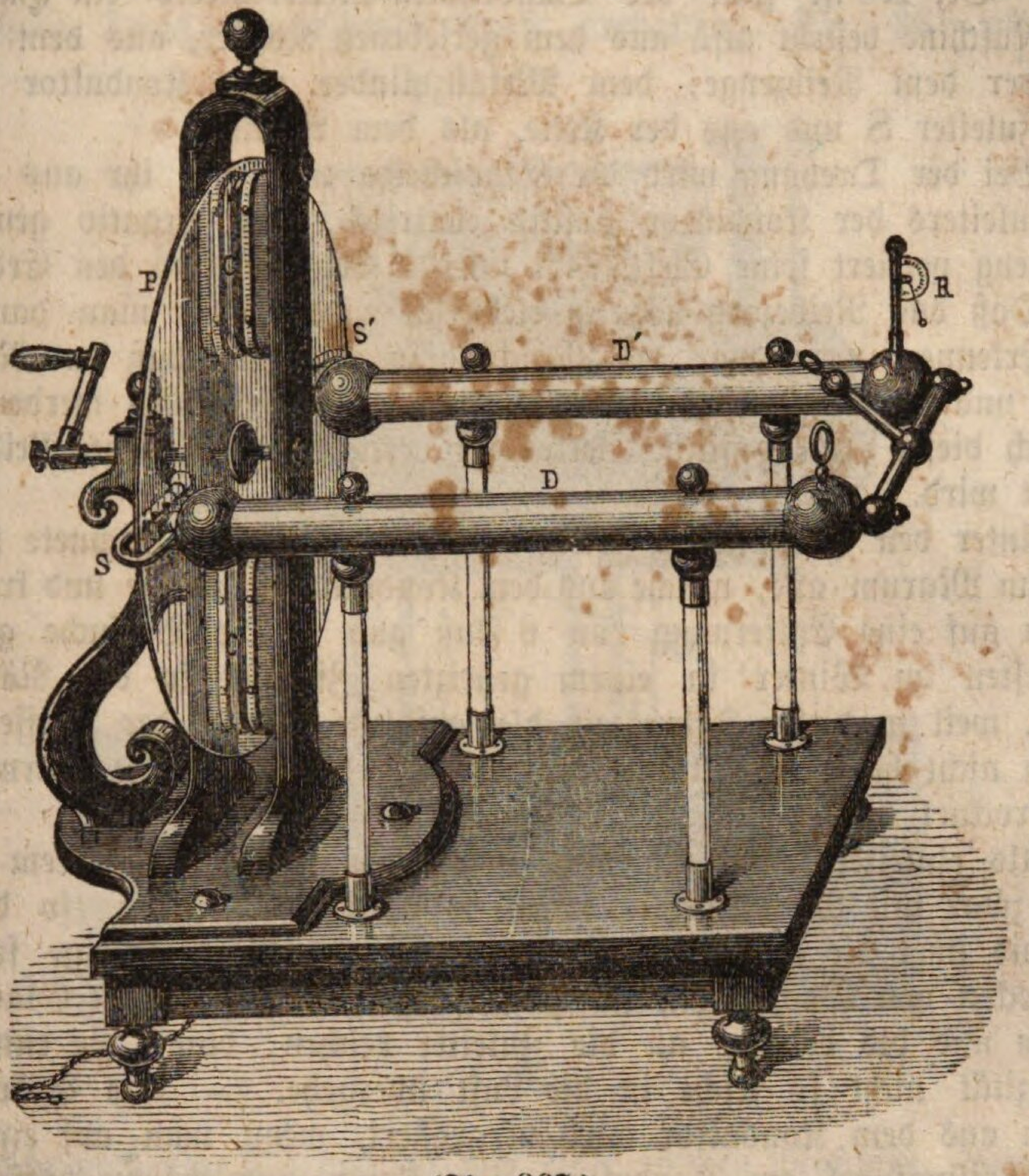
Körpern, eine mit amalgamirtem Leder überzogene Holzscheibe und eine Glasscheibe, an zwei Glasstäben und reibt sie aneinander, so wird die Holzscheibe negativ, die Glasscheibe positiv. — Drückt man eine ebenso gehaltene Metallplatte auf Wachstaffet, so wird sie positiv; der Taffet negativ elektrisch. — Ein erwärmter Papierstreifen wird in Berührung mit rauhem Metalle negativ, mit polirtem positiv. — Reibt von zwei isolirten Personen die eine die andere mit einem behaarten Felle, so wird die eine positiv, die andere negativ elektrisch. — Wird mattgeschliffenes Glas auf polirtem gerieben, so wird jenes negativ, dieses positiv. — Wird weißes Seidenzeug mit schwarzem gerieben, so wird jenes positiv, dieses negativ elektrisch. — Wie eine verschiedene Anordnung der Fasern eine solche Verschiedenheit hervorbringt, zeigt sich, wenn man zwei Stücken desselben Bandes kreuzweise aneinander schleift, denn das nach der Quere geriebene wird negativ, das andere positiv elektrisch. — In der Reihe der Körper: Katzenfell, polirtes Glas, wollenes Zeug, Federn, Holz, Papier, Seide, Schellack, mattes Glas wird einer positiv, wenn er mit einem auf ihm folgenden, und negativ, wenn er mit einem vorhergehenden gerieben wird.

Elektrizitätsanzeiger. Um das Vorhandensein auch geringer Grade von Elektrizität zu erkennen und dafür einen relativen Maßstab zu haben, dienen die Elektroskope und Elektrometer, von denen wir nur je eines anführen wollen.

Das Coulombsche Elektroskop besteht in einem zarten Stäbchen aus Schellack, welches an einem Kokonfaden hängt und an dem einen Ende ein Scheibchen von Rauschgold trägt. Der Faden ist um ein horizontales Holzstäbchen drehbar, um ihn zu verlängern oder zu verkürzen und ist zum Schutze gegen Luftzug von Glas umgeben. Ist das Scheibchen mit einem elektrischen Körper in Berührung gewesen, so muß es sich dann von ihm entfernen, weil es gleichnamige Elektrizität hat. Weiß man die Art dieser Elektrizität, so kann man leicht bestimmen, ob ein zweiter elektrischer Körper dieselbe oder eine andere Art besitzt, denn im ersten Falle wird das Scheibchen noch abgestoßen, im zweiten aber angezogen.

Das Quadrantenelektrometer besteht in einem lothrecht gestellten und eingetheilten Kreisquadranten, dessen oberer Strahl horizontal liegt; der andere lothrechte Strahl besteht aus einem etwas stärkeren Metalldrahte, welcher ein im Mittelpunkte des zugehörigen Kreises befestigtes, isolirtes und bis zum Kreisbogen reichendes Pendel trägt. Ist nun der metallene Ständer durch Verbindung mit einem anderen Körper elektrisch, so ist es auch der ihn berührende Pendelkörper und da beide gleichnamig elektrisch sind, so wird letzterer ab und in die Höhe gestoßen. Aus dem von ihm zurückgelegten Winkel kann man bei einem bestimmten Instrumente auf die relative Stärke der Elektrizität aus verschiedenen Quellen schließen.

Elektrisirmaschinen. Um Elektrizität in erhöhtem Maße hervorzurufen und damit umfangreichere Versuche anzustellen, hat man verschiedene Maschinen gebaut und als die wirksamsten die Glasscheiben und die hydroelektrischen Maschinen gefunden.



(Fig. 367.)

In Fig. 367 ist eine Scheibenmaschine dargestellt. P ist eine schwache und recht eben geschliffene Glasscheibe, welche mittelst einer durch ihre Mitte gehenden Kurbel drehbar ist; die Kurbelaxe ruht auf zwei Ständern, zwischen welchen die Scheibe sich befindet; die Reibung der Scheibe wird durch zwei Paare von gepolsterten und mit Quecksilberamalgam bestrichenen Lederkissen C und C', von denen das eine durch die Ständer oben, das andere unten gehalten und mittelst Federn an die Scheibe gedrückt wird; in gleicher Höhe mit der Kurbelaxe befinden sich zwei hohle Messingzylinder D und D', jeder auf zwei mit Schellack überzogenen Glasfüßen, deren Axen lothrecht auf der Ebene der Scheibe stehen, also miteinander parallel sind; an der Scheibe trägt jeder einen dieselbe theilweise umfassenden Metallbügel SS' mit Metall-

spitzen, welche dem Glase sich fast bis zur Berührung nähern; an der anderen Seite endigen die Zylinder sich in Kugeln, welche durch ein metallenes Querstück verbunden sind. Von den beiden Lederkissen aus geht noch ein Metallkettchen oder eine Metallspirale bis an den Erdboden. Bei R ist statt des Quadranten-Elektrometers ein Halbkreis. Die Maschine besteht also aus dem geriebenen Körper, aus dem reibenden oder dem Reibzeuge, dem Metallzylinder oder Konduktor D mit dem Zuleiter S und aus der Kette, als dem Ableiter.

Bei der Drehung wird die Glasscheibe und von ihr aus mittelst des Zuleiters der Konduktor positiv elektrisch, das negativ gewordene Reibezeug verliert seine Elektrizität mittelst der Kette an den Erdboden.

Daß das Reibezeug negativ elektrisch wird, kann man dann sehr leicht erkennen, wenn man die Maschine so einrichtet, daß das Reibzeug isolirt und der Konduktor mit der Erde leitend verbunden werden kann, wodurch dieser seine positive Elektrizität verliert und die des Reibzeuges erkannt wird.

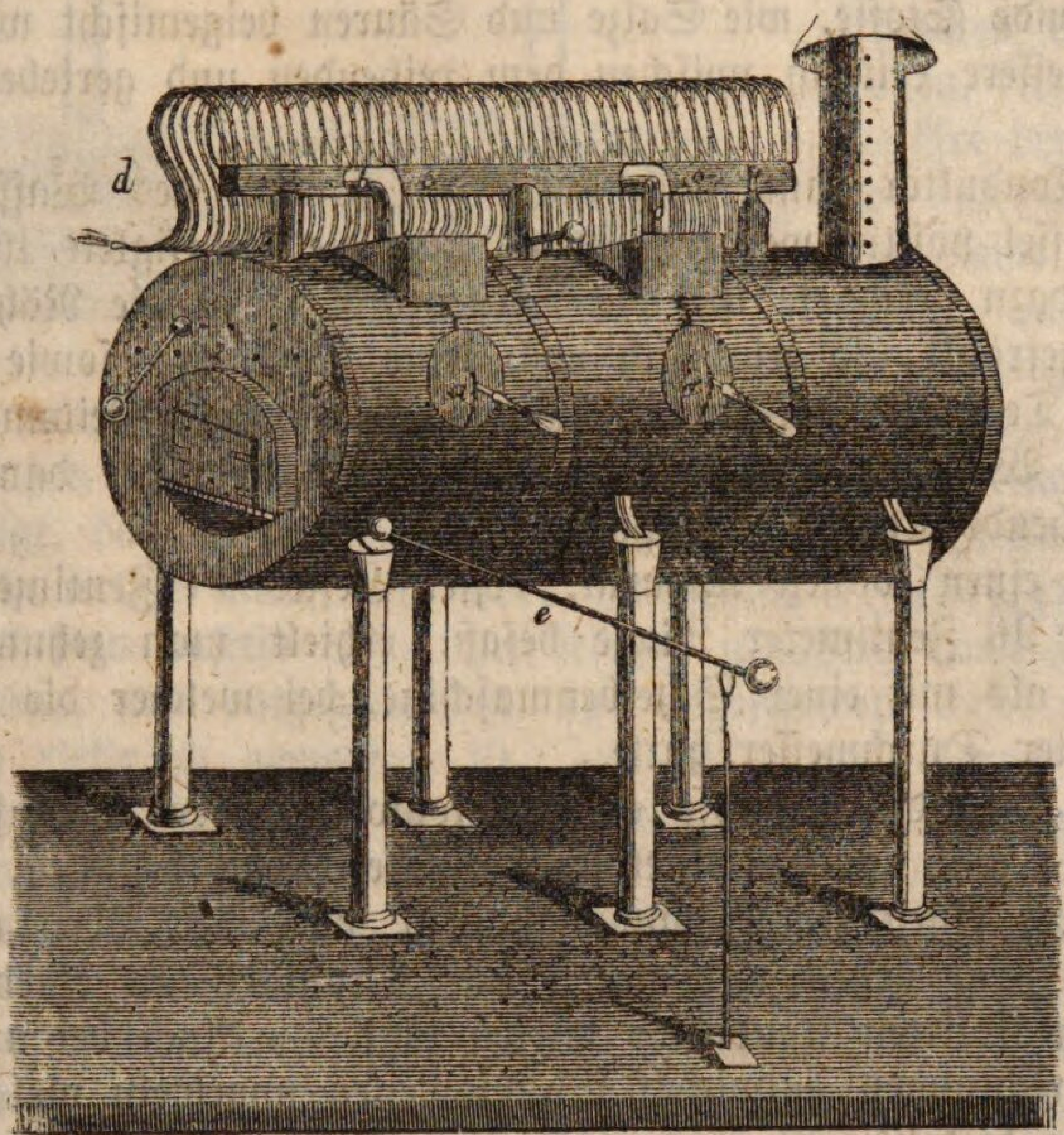
Unter den in früheren Zeiten gebauten Maschinen zeichnete sich die von van Marum aus, welche aus dem Konduktor gewaltige und krachende Funken auf eine Entfernung von 6 Fuß gab. Die Versuche gelingen am besten im Winter in einem geheizten Zimmer in der Nähe des Ofens, weil in dieser Jahreszeit die absolute Menge der Wasserdünste an sich nicht bedeutend ist und die Luft überdies durch die Wärme noch ausgetrocknet wird.

Als Zuleiter wählt man jetzt lieber Ringe von gefirnißtem harten Holze zwar mit Metallspitzen, aber in vertieften Furchen, so daß sie nicht bis über die Holzfläche hervorragen. An die Reibzeuge schließen sich Flecken von Wachstaffet, welche sich beim Drehen an die Glasscheibe anlegen und bis beinahe an die Zuleiter reichen, damit die entwickelte Elektrizität nicht so leicht in die Luft übergehe. — Die Stärke der Funken aus dem Konduktor wird vergrößert, wenn man auf eine größere Messingkugel am Konduktor eine kleine unmittelbar aufsetzt. — Eine weitere höchst auffallende Steigerung der Wirkung tritt ein, wenn man auf einen solchen Konduktor einen Ring von hartem Holze, welches einen Metalldraht einschließt, glatt und gefirnißt ist, mittelst eines ebensolchen Stieles von 1 bis 2 Fuß Länge stellt.

Gewöhnlich bringt man noch einen sogen. Funkenzieher neben dem Ende des Konduktors an. Es ist ein starker, horizontal verschiebbarer Metalldraht auf einem isolirenden Ständer mit zwei Metallkugeln an seinen Enden, einer größeren dem Konduktor zugekehrten und einer kleineren an der anderen Seite. Durch seine Verschiebung hat man es in seiner Gewalt, kürzere oder bis zu einer gewissen Gränze längere Funken aus dem Konduktor zu ziehen.

Gleichwie die Hervorbringung von Tönen durch Reibung nicht an einen bestimmten Aggregatzustand der Körper gebunden war, so ist es

auch mit der Elektrizität. In dieser Beziehung sind die **Hydroelektrisirmaschinen** interessant, weil sie einen bedeutenden Grad von Elektrizität durch Reibung des Wassers an einem festen (Holz, Glas, Metall) oder flüssigen (Terpentinöl) Körper entwickeln lassen. Das Wasser wird durch die Kondensation von Dämpfen erzeugt, welche selbst durch ihren Druck die reibende Kraft enthalten. Fig. 368 gibt der



(Fig. 368.)

Hauptsache nach eine Darstellung von einer solchen Maschine. Innerhalb eines isolirten Metallzylinders ist der ganzen Länge nach eine Feuerung, welche zu einem beweglichen Schornsteine führt, um ihn, wenigstens anfänglich, in einen Kamin zu leiten. Die ganze Feuerung ist bis zu zwei Drittel der Kesselhöhe von vollkommen reinem Wasser umgeben und erhält die zum Brennen nöthige Luft durch kleine oben angebrachte Oeffnungen einer Vorthüre, um vorgewärmt zu werden. Ein Sicherheitsventil gestattet einen Dampfdruck bis zu 6 Atmosphären. Der Dampf geht aus dem Kessel durch Gußeisenrohre, von da durch einen schmalen Sägeausschnitt und ein enges Loch in einem Messingstücke in einem durchbohrten Zylinder von hartem mit reinem Wasser getränktem Holze und strömt endlich gegen ein mit Spitzen versehenes Drahtgitter an einem isolirten Konduktor. Der Konduktor wird positiv, der Kessel negativ elektrisch. Jenachdem man jene oder diese Elektrizität in erhöhtem

Maße erlangen will, muß man beziehungsweise den Kessel oder den Konduktor mit der Erde in leitende Verbindung bringen. Die Zahl der Ausströmungsmündungen erhöht die Wirkung. In ihnen muß sich ein Theil des Dampfes verdichten, wenn überhaupt ein Erfolg entstehen soll; ist nämlich die Erhitzung dieser Röhren so groß, daß nur Dampf ausströmt, so zeigt sich keine Elektrizität; deshalb umgibt man sie auch bisweilen mit kälterem Wasser. Geschwächt wird die Wirkung, wenn dem Wasser leitende Stoffe, wie Salze und Säuren beigemischt werden, weil diese eine bessere Leitung zwischen dem reibenden und geriebenen Körper bewirken.

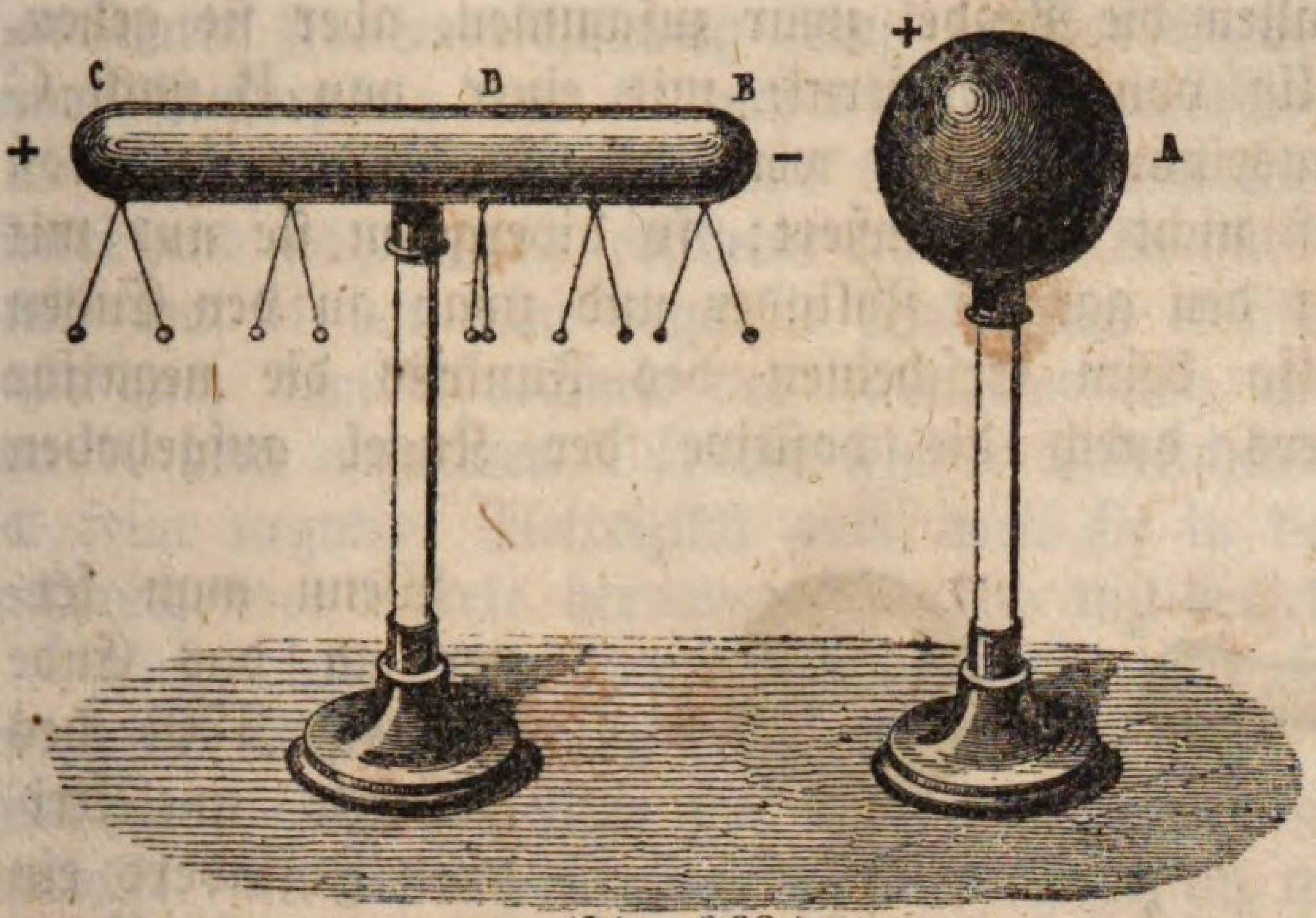
Der Konduktor kann auch durch den Dampf des Wassers negativ und der Kessel positiv werden, wenn nur die Flüssigkeit in der Holzröhre eine dazu geeignete ist, wie Terpentinöl. Ist die Röhre nur mit Terpentin getränkt, so zeigt sich noch keine Wirkung, sowie man dann aber etwas Terpentin hineinläßt, so wird durch seine Reibung am Holze mittelst des Wasserdampfes sowohl dieser, als auch der damit in Verbindung stehende Konduktor negativ.

Durch einen solchen Apparat, dessen Kessel 44 Zentimeter Durchmesser und 96 Zentimeter Länge besaß, erhielt man zehnmal so viel Elektrizität, als mit einer Scheibenmaschine, bei welcher die Glasscheibe 71 Zentimeter Durchmesser hatte.

Man kann die Dämpfe einer Lokomotive oder eines feststehenden Dampfkessels auch zur Entwickelung von Elektrizität benutzen, wenn man sie nur durch einen Ausströmungsapparat nach der oben angegebenen Zusammensetzung gehen und gegen das Drahtnetz an einem seitwärts angebrachten isolirten Konduktor wirken läßt. — Auch bei anderen technischen Verrichtungen entwickelt sich bisweilen ungemein viel Elektrizität. Besonders aufgefallen ist es mir in der Papierfabrik an den Niagarafällen, wo aus dem Papiere, nachdem es über die Trocknenzylinder gegangen war, fortwährend eine Unzahl von so kräftigen Funken auf die benachbarte Diele übersprangen, daß man sie am hellen Tage gut erkannte. Vielleicht lassen sich solche elektrische Kräfte noch anderweitig benutzen.

Vertheilung der Elektrizität. Um einen klaren Einblick in die verschiedenen elektrischen Erscheinungen und selbst in die Entstehung der Elektrizität an den Maschinen zu erlangen, müssen wir zeigen, was vorgeht, wenn ein Leiter oder Nichtleiter einem elektrischen Körper genähert wird oder mit ihm zur Berührung kommt.

Ist in Fig. 369 A ein isolirter positiv elektrischer Leiter, CB ein gut polirter unelektrischer und auch isolirter Metallzylinder, an welchem mittelst ganz feiner Metalldrähte oder Leinenfäden in verschiedenen Stellen vertheilt Kügelchenpaare aus dem Marke der Sonnenrosenstaude hängen; so gehen diese Pendel bei der Annäherung des Zylinders an den elektrischen Körper bis auf ein gegen die Mitte angehängtes Paar auseinander,



(Fig. 369.)

und zwar um so mehr, je näher sie den beiden Enden sind. Daraus folgt also, daß in jedem Paare dieselbe Elektrizität ist, weil nur gleichnamige Elektrizitäten einander abstoßen. Um nun noch die Art der Elektrizität zu untersuchen, reibt man eine Siegellackstange mit trockenem Wollenzeuge, wodurch sie negativ wird, nähert sie zuerst den Pendeln bei B und findet, daß diese abgestoßen werden, dann denen bei C und erkennt eine Anziehung. Daraus folgt, daß es eine gegen die Mitte liegende Stelle D des Zylinders gibt, welche unelektrisch oder indifferent (Indifferenzstelle) ist, daß das dem positiv elektrischen Körper genäherte Ende des isolirten Leiters negativ, also entgegengesetzt, das abgewendete Ende positiv, also gleichnamig elektrisch geworden ist. — Wäre der Körper A negativ elektrisch gewesen, so würde B positiv und C negativ geworden sein.

Daraus ergibt sich:

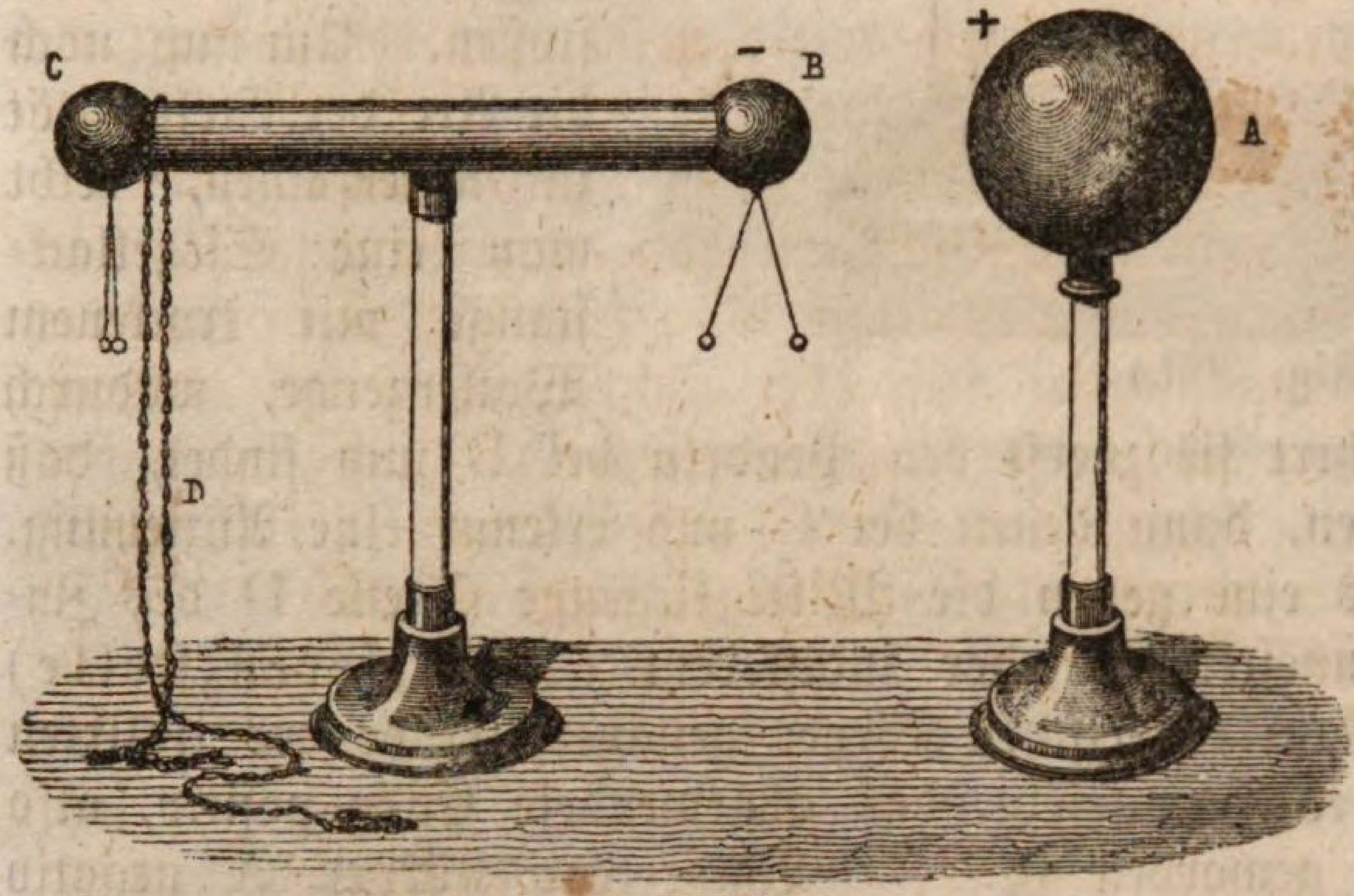
In jedem unelektrischen Körper ist sowohl positive, als auch negative Elektrizität vorhanden. Diese entgegengesetzten Zustände treten aber erst dann getrennt von einander hervor, wenn er einem elektrischen Körper hinreichend genähert wird, wobei die entgegengesetzte Elektrizität an das genäherte Ende gezogen, die gleichnamige an das entfernte abgestoßen wird. Entfernt man den Zylinder, ohne irgend etwas mit ihm vorgenommen zu haben, so treten die beiden Elektrizitäten wieder zusammen und er ist unelektrisch, wie er war.

Der elektrische Funke. Ist der Zylinder so eingerichtet, daß man seine beiden Hälften isolirt von einander abnehmen kann, thut man dieses, während die beiden elektrischen Zustände an ihm getrennt sich zeigen, und bringt man dann die Enden der beiden Hälften einander gegenüber sehr nahe oder zur Berührung, so zeigt sich ein elektrischer Funken und die Elektrizität ist auf den beiden Theilen verschwunden. Dieses ist ein Beweis davon:

daß der elektrische Funke entsteht, wenn positive und negative Elektrizitäten miteinander sich verbinden.

Wir können diese wichtige Behauptung sofort noch bestätigen. Wenn wir den isolirten Zylinder CB dem positiv elektrischen Körper A hinreichend weit nähern, so springt zwischen ihnen auch ein Funke über.

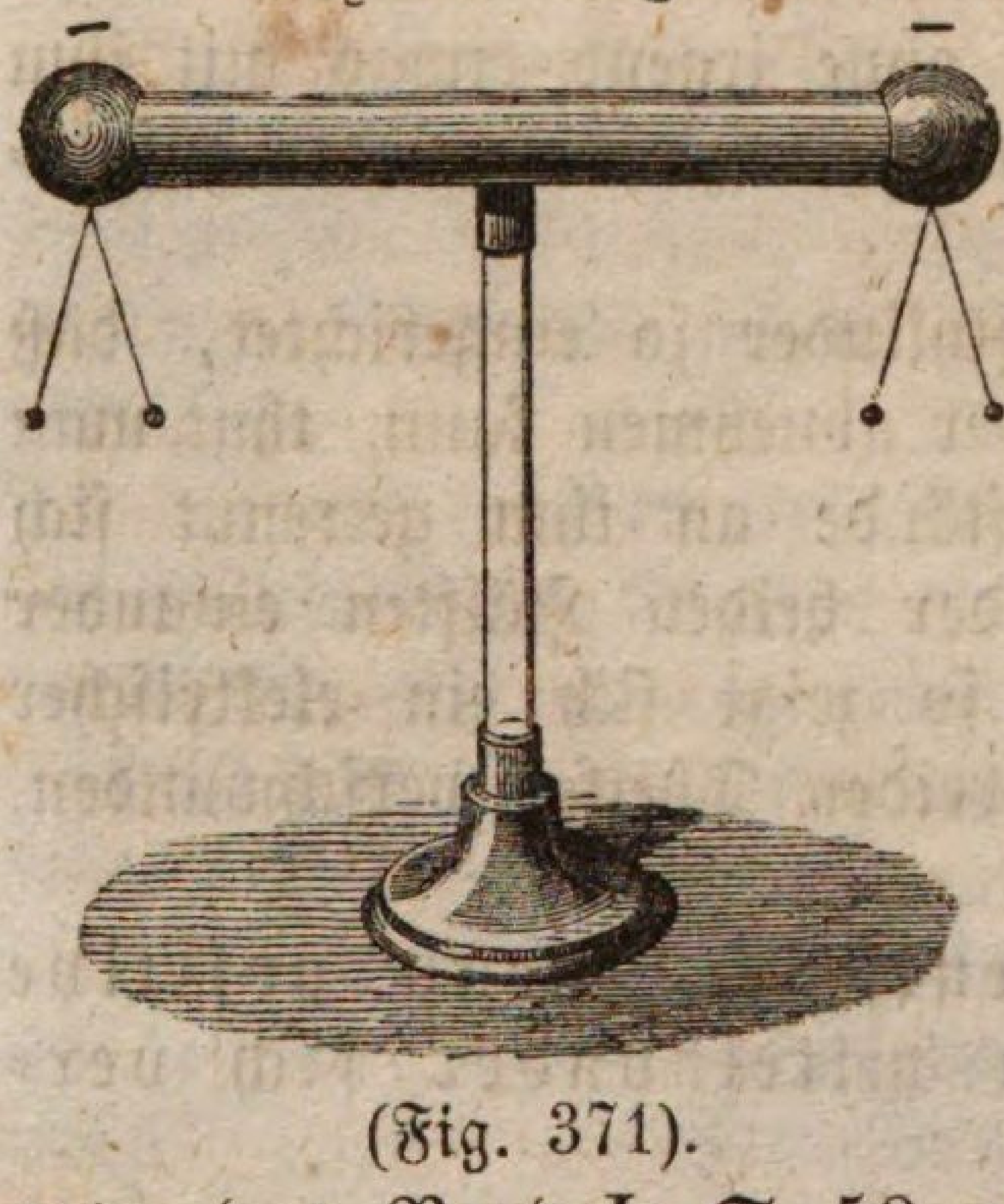
In diesem Augenblicke fallen die Pendel zwar zusammen, aber sie gehen, wenn man CB allmählig von A entfernt, mit einer von B nach C wachsenden Divergenz auseinander, und wenn die Entfernung so groß ist, daß A einen Einfluß nicht mehr äußert; so divergiren sie nur mit positiver Elektrizität über den ganzen Zylinder und zwar an den Enden am meisten. Es ist also beim Erscheinen des Funkens die negative Elektrizität des Zylinders durch die positive der Kugel aufgehoben worden.



(Fig. 370.)

Wenn man ferner an das Ende C (Fig. 370) des isolirten unelektrischen Zylinders ein Metallkettchen D bis auf den Erdboden hängen läßt oder dasselbe mit der Hand berührt, es überhaupt also mit dem Erdkörper in leitende Verbindung bringt und man nähert dem anderen Ende B einen positiv elektrischen Körper A; so tritt durch den Einfluß des A an dem B zwar auch zufolge der Anziehung negative Elektrizität auf, aber sie kann sich, weil sie eben angezogen wird, nicht nach außen frei äußern.

Wenn man aber bei bleibender Annäherung das Kettchen von C oder die Hand wegnimmt und dann erst A von CB entfernt, so zeigt letzteres nur negative Elektrizität, wie es Fig. 371 angibt und zwar auch mit wachsender Stärke nach den beiden Enden.



(Fig. 371).

Wenn man einem kugelförmigen Konduktor einen recht langen nicht isolirten zylindrischen Leiter so weit nähert, daß der Zwischenraum etwa dem 4- bis 5-fachen Durchmesser des Zylinders gleich ist; so findet sich, daß die Stärke der Elektrizität auf ihm so abnimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung vom Mittelpunkte des Konduktors zunehmen. Es findet also auch hier eine Unterordnung unter das Band I. S. 59 angegebene Gesetz statt.

Wenn man während der Vertheilung der Elektrizität auf dem Zylinder sein entfernteres Ende mit einem Leiter berührt, so nimmt man

ihm unter Funkenerscheinung seine positive Elektrizität und er ist nach seiner Entfernung von A auch nur noch negativ.

Wenn man, während das Kettchen noch an C hängt, A dem B hinreichend nähert, so erscheint zwischen A und B der Ausgleichungsfunke und B hat seine negative Elektrizität ebenfalls verloren. — Wenn man nach dem Abnehmen des Kettchens und dem Entfernen des C B von A dem negativen C B den Finger hinreichend nähert, so verschwindet seine negative Elektrizität auch, weil sie in dem Finger positive von entsprechender Stärke hervorgerufen und mit derselben sich verbunden hat.

Aus diesen Untersuchungen geht hervor, daß von einer Mittheilung der Elektrizität von einem Körper an einen zweiten im eigentlichen Wortsinne nicht die Rede sein kann, sondern daß der elektrische Körper zunächst eine Vertheilung der Elektrizität im unelektrischen genäherten Leiter vornimmt, dieser mag isolirt sein oder nicht, daß ferner eine in Funken sich äußernde Aufhebung der hervorgerufenen entgegengesetzten Elektrizität eintritt und daß dann der andere Körper, wenn er isolirt ist, die gleichnamige, wenn er nicht isolirt ist, keine Spur Elektrizität zeigt.

Nur in einem ununterbrochenen Leiter findet eine augenblickliche Fortpflanzung der Elektrizität von Theilchen zu Theilchen statt, welche wir allenfalls eine Mittheilung nennen können, obwohl sie auch eine sich so schnell fortpflanzende Vertheilung ist, wobei jedes Molekel durch Vertheilung beide Elektrizitäten besitzt, was wir mit der Erscheinung der Indifferenzstelle sehr wohl in Einklang bringen können.

Die Bewirkung der Rückkehr eines elektrischen Körpers in den unelektrischen Zustand heißt seine Entladung.

Auf diese Weise läßt sich leicht einsehen, wie bei der Scheibenelektrisirmaschine der Konduktor einen gewissen Grad von positiver Elektrizität annehmen muß, wenn an der Scheibe bei der Drehung dergleichen entsteht. Es werden nämlich die ihr am nächsten befindlichen Theile der von dem Konduktor ausgehenden Zuleiter negativ, der Konduktor wohl in seiner ganzen Ausdehnung positiv elektrisch; jene negative wird bei der Erscheinung der kleinen Funken an der Scheibe aufgehoben und die positive bleibt dem Konduktor. Sind Reibzeug und Konduktor beide isolirt, so wird die Bildung der Funken in kurzer Zeit aufhören, weil die positive Elektrizität der Scheibe und die positive des Konduktors gleiche einander abstoßende Kraft haben und die erstere gleichzeitig von der negativen des Reibzeuges angezogen wird. Soll also ein höherer Grad von positiver Elektrizität am Konduktor erscheinen, so muß das Reibzeug mit der Erde, dieser unerschöpflichen Quelle für beide elektrischen Zustände, in leitende Verbindung gebracht werden, damit es seine positive Elektrizität ohne Funkenentladung an die Erde verliere und die negative um so lebhafter den elektrischen Gegensatz an der Scheibe hervorrufe. So nun wird an dem Zuleiter die Funkenbildung rege erhalten, bis endlich der Konduktor den höchsten Grad von Elektrizität hat,

dessen er bei einer gewissen Maschine fähig ist. Da die Glasscheibe die Verbindung, nicht aber die Anziehung der positiven Elektrizität des Konduktors mit der negativen des Reibzeuges verhindert; so wird der Konduktor umsomehr elektrisch werden, je dünner die Scheibe ist; aber allzudünn darf sie nicht sein, weil sie sonst die Verbindung dieser entgegengesetzten Elektrizitäten nicht verhindern würde.

Hält man einem positiv elektrischen Körper einen Nichtleiter gegenüber, z. B. eine nicht elektrische Siegellackstange, so bilden sich an ihm schmale elektrische Gürtel von abwechselnd positiver und negativer Elektrizität.

Ist der vorgehaltene Körper ein Halbleiter, wie z. B. ein 3—4" langes Stäbchen von Schwefelantimon, so wird er auf einige Zeit in der Art elektrisch, daß jedes Bruchstück an dem einen Ende positiv, an dem anderen negativ ist. Man sagt in diesem Falle: der Körper ist polarelektrisch und seine beiden am meisten wirksamen Enden sind seine Pole.

Ozon. Merkwürdig ist noch der schwefelartige Geruch, welcher in der Nähe einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine wahrgenommen wird. In solcher Luft verschwindet die Indigofarbe plötzlich, die farblose Guajaktinktur wird sofort gefärbt, die Milch wird früher sauer und überhaupt alle Oxydationen, d. h. die Verbindungen der Körper mit Sauerstoff, gehen lebhafter vonstatten. Wenn trockener reiner Sauerstoff elektrisirt wird, so zeigt er dieselbe vergrößerte Neigung zur Verbindung mit anderen Körpern, während der indifferente Sauerstoff sich in ähnlichen Fällen nur sehr langsam verbindet. Wasser ist eine chemische Verbindung von negativ elektrischem Sauerstoffe und positiv elektrischem Wasserstoffe. In der atmosphärischen Luft aber und in dem Zustande, in welchem er sich von einem Körper frei macht, ist er unelektrisch und geruchlos. Er wird also durch die positive Elektrizität der Maschine aus seinem indifferenten Zustande in einen elektrischen Spannungszustand versetzt, in welchem er leichter Verbindungen eingeht, also auch auf unseren Geruch wirkt.

Es ist also nichts Befremdendes, wenn man in neuester Zeit im Sauerstoffe selbst einen elektrischen Gegensatz erkannt hat. Man nennt den durch positive Elektrizität elektrisch gewordenen Sauerstoff Ozon, seinen Gegensatz Antozon. Jenes oxydirt, dieses reduzirt oder scheidet Stoffe aus Verbindungen ab. Es bleibt der Zukunft vorbehalten, zu untersuchen, welchen Einfluß das Ozon, wie es auch durch die Luftelektrizität entsteht, auf das Befinden des menschlichen Körpers äußert.

Die Geruchsnerven werden unter dem Einflusse der entgegengesetzten Elektrizitäten für die Empfindung verschieden gestimmt: die Dünste wohlriechender Stoffe sind elektrisch negativ (die Stoffe selbst positiv) und werden an dem Konduktor mit negativer Elektrizität übelriechend, an dem mit positiver feiner wohlriechend; die Dünste übel-

riechender Stoffe sind positiv (die Stoffe selbst negativ) und werden an dem positiven Konduktor wohlriechend, an dem negativen noch mehr übelriechend. Der Blumenduft ist nach der Art der Luftelektrizität verschieden stark: ist sie positiv, so ist die Luft reiner, balsamischer und angenehmer. Die Geruchsnerven werden unter einem unmittelbaren und starken Einflusse der Elektrizität, namentlich negativer, abgestumpft; daher duften die Blumen nach Gewittern und abends mehr, als vorher und am Tage. — Die Geschmacknerven werden, wenn man Elektrizität einige Zeit auf die Zunge einwirken läßt, unempfindlich; da sie selbst elektrisch positiv sind, so sind ihnen elektrisch negative Körper angenehm, positive unangenehm.

Wenn in der Nähe eines stark elektrischen Körpers A hintereinander zwei Leiter vorhanden sind, von denen der entferntere C nicht isolirt ist, so wird der nähere und isolirte B durch Vertheilung elektrisch und der entferntere bekommt durch den Einfluß des näheren die entgegengesetzte Elektrizität des A. Ist A positiv, so wird C negativ. Wenn nun zwischen A und B ein elektrischer Funken erscheint, so entsteht er bei hinreichender Nähe des C auch zwischen B und C und dieses nennt man den elektrischen Rückschlag. Steht man, ohne isolirt zu sein, in der Nähe eines kräftig elektrischen Konduktors und entladet ein Anderer, welcher dazwischen steht, denselben, so kann man auch schon einen Rückschlag empfinden; bei Gewittern ist er bisweilen so gewaltig, daß er einen Menschen tödten kann.

Wesen der Elektrizität. Es ist merkwürdig, daß es leider noch so Viele gibt und grade solche, welche sich berufen fühlen, das Volk im weiteren Sinne zu belehren, denen eine durchaus falsche Vorstellung von dem Wesen der Elektrizität ganz geläufig ist. Sie sprechen von einer elektrischen Materie, welche sich an manchen Stellen ansammelt, ja sogar anhäuft, welche um die Oberflächen der Körper eine Schicht von größerer oder geringerer Dichtigkeit und Mächtigkeit bildet, welche zu- und abströmt und dieses mit einer Geschwindigkeit von etwa 62000 Meilen in 1 Sekunde (Bd. II. S. 36). Wäre dieser Stoff auch noch so zart, so müßte er, wenn er z. B. auf einem Telegraphendrahte hinströmte, alles daran und darauf Befindliche mit sich fortreißen, aber wir sehen u. a. wie im Herbste die Schwalben, und sonst auch andere Vögel, zu Hunderten sich daraufsetzen, ohne durch das Telegraphiren sich stören zu lassen. Reißt doch die ziemlich zarte atmosphärische Luft im Orkane schon bei einer Geschwindigkeit von etwa 140 Fuß in 1 Sekunde Alles mit unwiderstehlicher Gewalt fort; um wie viel größer müßte die Gewalt des elektrischen Stromes sein! Innerhalb der Stofftheile des Drahtes aber kann die angebliche elektrische Materie noch weniger strömen, weil sie daselbst einen absolut unüberwindlichen Widerstand vorfindet.

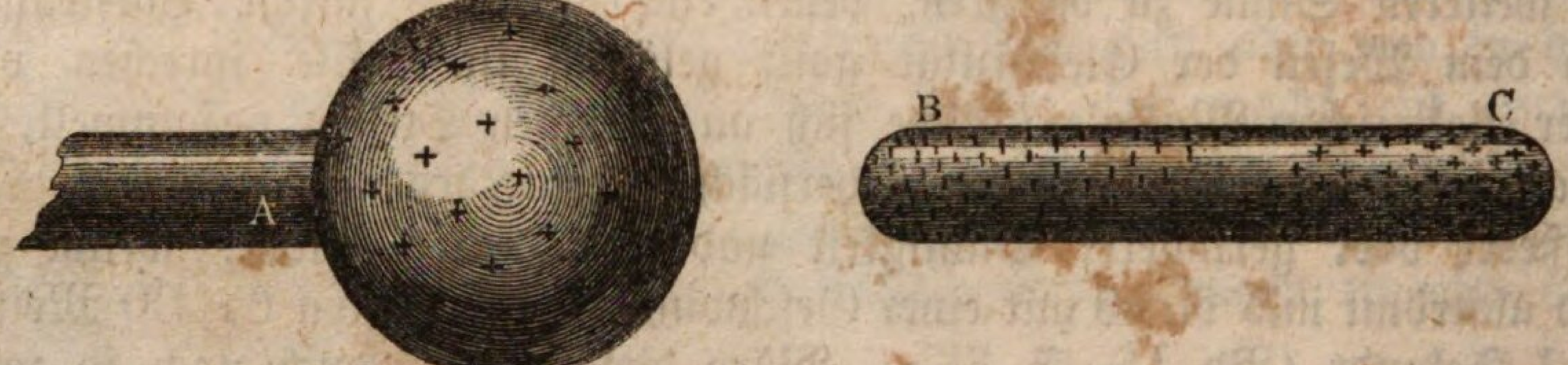
Es ist unbegreiflich, wie man glauben kann, daß durch die Bewegung eines Körpers an einem anderen ein neuer Stoff hervorgezaubert

werden soll, ohne daß die beiden aneinander geriebenen Körper nur im geringsten ihre stoffliche Beschaffenheit ändern und ohne daß sie eine chemische Verbindung eingehen.

Es kann durch eine solche Bewegung, wie sie zur Hervorbringung elektrischer Erscheinungen angewendet wurde, nur der Gleichgewichtszustand der Molekel geändert werden. Ist ein Körper in einem elektrisch indifferenten Zustande, d. h. zeigt er gar keine Elektrizität, so haben die Molekel eines Körpers eine Lage gegeneinander, wie sie ihrer Gestalt am besten entspricht, um mit dem betreffenden Stoffe den möglich kleinsten Raum einzunehmen; ist der Körper elektrisch geworden, so haben alle Molekel durch den ganzen und auf dem ganzen Körper eine erzwungene Lage, welche er auch in jedem benachbarten, selbst von ihm getrennten Körper hervorrufen will, um eine Uebereinstimmung oder Harmonie zu erzielen.

Diese Veränderung der Gleichgewichtslage, über deren Art wir später noch Aufschluß zu erhalten hoffen dürfen, nennt man die elektrische Spannung und je mehr die Molekel aus ihrer natürlichen Lage gebracht worden sind, desto größer ist die Spannung.

Aus dieser Annahme wird sich nicht nur die auffallende Erscheinung der Indifferenzstelle, sondern auch die Thatsache erklären lassen, daß die Elektrizität nur an der Oberfläche der Körper wirksam hervortritt; daß ihre Stärke um so mehr wächst, je kleiner die von einer bestimmten Fläche umschlossene Masse ist, also an den Kanten und Spitzen kräftiger ist, als an anderen Stellen.

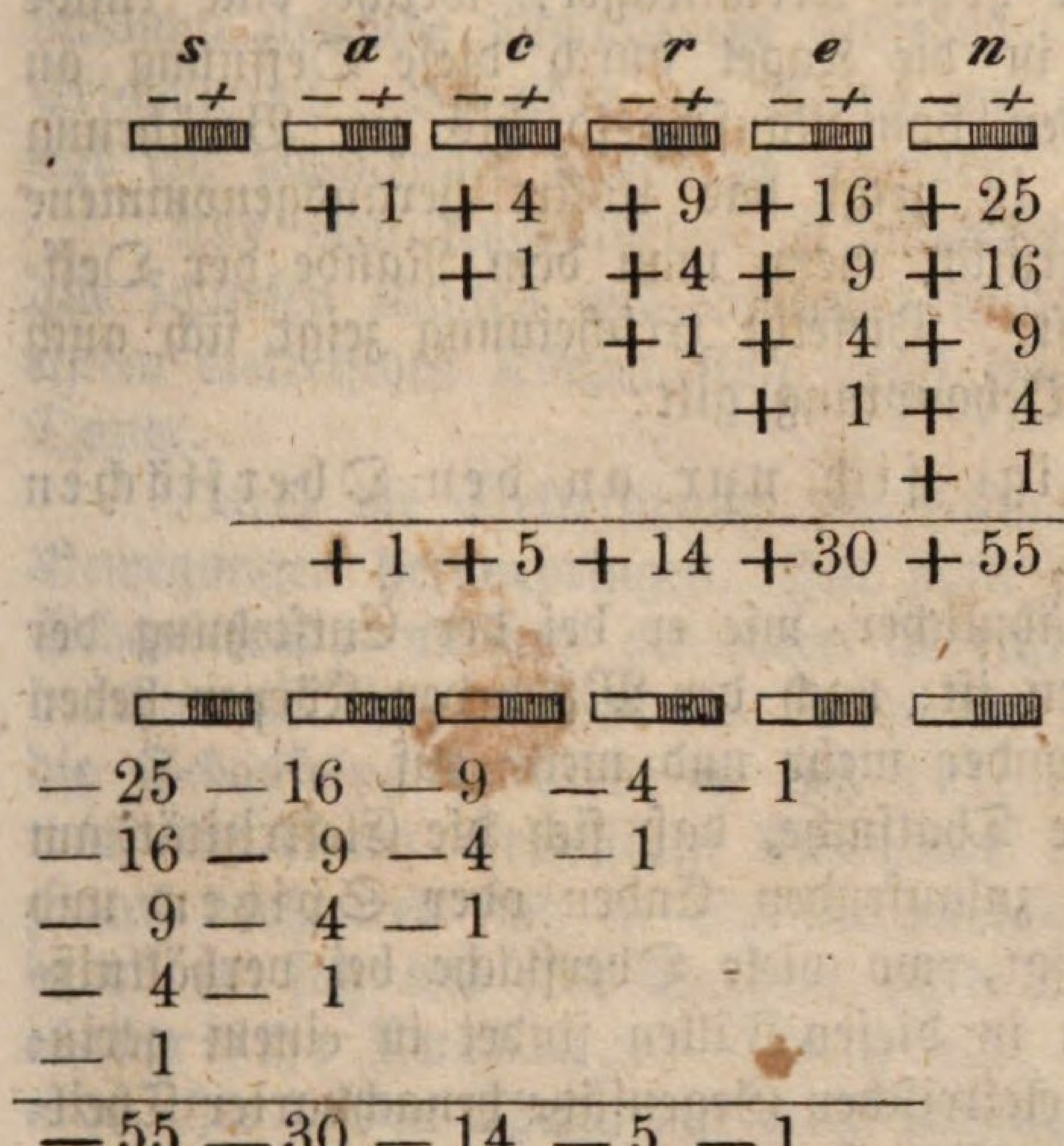


(Fig. 372.)

Was in Fig. 372 dargestellt ist, tritt allerdings in die äußere Erscheinung: nämlich auf der Kugel bei A ist die Elektrizität, z. B. die positive, überallgleich vertheilt, freilich nur so lange, als die Kugel ganz allein vorhanden ist; auf dem ihr vorgehaltenen leitenden Zylinder wächst ringsum die negative von der Mitte nach dem Ende B, die positive nach dem Ende C. Die Erklärung aber liegt in Folgendem. Wenn man von dem Zylinder BC, welcher viel kürzer sein kann, nach rechts hin noch eine ganze Reihe von solchen Zylindern sich denkt, so wird jeder, wie der erste, an seiner linken Seite negativ, an der rechten positiv elektrisch sein. Denken wir uns nun einen zusammenhängenden

Körper aus Reihen außerordentlich kleiner und gleicher Stofftheile zusammengesetzt, von denen alle nach der einen Richtung positiv, nach der entgegengesetzten negativ sind, so läßt sich untersuchen, welches der Gesammterfolg der anziehenden und abstoßenden Kraft von der einen und von der anderen Seite ist.

In Fig. 373 sei eine Reihe solcher Theilchen, deren linke hell gezeichnete Hälfte negativ, die rechte dunkel gezeichnete positiv elektrisch sei. + E. des s und — E. des a ziehen einander so an, daß eine Wirksamkeit nach außen nicht mehr hervortritt; — E. des s wirkt auf + E. des a zwar auch anziehend, aber es kann dasselbe wegen seiner Entfernung von ihm nicht aufheben, so daß ein gewisser Antheil von ihm noch frei und nach außen wirksam bleibt und diesen Theil können wir mit + 1 E. bezeichnen. Wenn + E. des a von dem s die einfache Entfernung besitzt, so haben die positiven Elektrizitäten der Theile c, r, e, n nach der Ordnung die 2-, 3-, 4-, 5-fache Entfernung von ihm, so daß der Einfluß von — E. des s auf sie nur $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{25}$ von dem auf + E. des a ist und somit der frei wirksame positive Antheil von ihnen 4, 9, 16, 25 mal größer ist, als für a; dieses deutet die darunter gesetzte erste Zahlenreihe an.



(Fig. 373.)

So wie die Wirkung des — E von s auf das + E. aller ihm zur Rechten liegenden Theilchen betrachtet und die noch frei nach außen wirksamen Antheile gefunden worden sind, ebenso läßt sich untersuchen, welchen Einfluß das — E. von dem zweiten Theile a, das — E. von dem dritten c u. s. w. auf die positiven Elektrizitäten aller noch folgenden Theile haben werden und daraus ergeben sich die darunter stehenden Zahlenreihen als die frei bleibenden Wirkungen.

Addirt man die zu den einzelnen Theilen gehörigen Zahlen aus den erhaltenen Reihen, so bekommt man als Ausdruck der nach rechts wirksamen positiven Elektrizität die Reihe + 1, + 5, + 14, + 30, + 55.

Ganz in derselben Weise läßt sich der Erfolg der Anziehung des + E. von n, e, c, r, a für jeden dieser Theile auf alle in den einzelnen Fällen nach links liegenden — E. bestimmen, was die darunter angegebenen Zahlenreihen angeben. Die Summirung dieser Reihen gibt

als Ausdruck der nach links wirkenden negativen Elektrizität —55, —30, —14, —5, —1.

Wenn man nun die beiden erhaltenen einander entgegengesetzten Reihen addirt, so erhält man als das in die Erscheinung tretende Gesammtresultat

$$-54, \ -25, \ \mp 0, \ +25, \ +54,$$

in der That also in der Mitte des durch Vertheilung elektrisch gewordenen Leiters eine Stelle ohne Elektrizität und von da aus nach den beiden Enden entgegengesetzte mit wachsender Stärke. Hätten wir eine ungrade Anzahl von Theilchen gewählt, so würden in der Mitte zwei benachbarte entgegengesetzte Elektrizität von gleicher Kraft haben, so daß dort ebenfalls 0 E. entstände. Es ist klar, daß man jeden Körper in lauter außerordentlich zarte Stäbchen mit solchen Theilen zerlegt denken kann, und denselben Vorgang in jedem derselben erhalten wird, weshalb der ganze Körper dieser Betrachtung entspricht.

Elektrisirt man eine isolirte hohle Metallkugel, welche eine runde Oeffnung hat und senkt man in die Kugel durch diese Oeffnung an einem Seidenfaden ein Scheibchen von Rauschgold bis zur Berührung der inneren Kugelfläche hinab, so zeigt das isolirt herausgenommene Probirscheibchen keine Elektrizität, wenn man dem Rande der Oeffnung nicht zu nahe gekommen ist. Dieselbe Erscheinung zeigt sich auch in anderen Fällen, so daß die Behauptung gilt:

die Elektrizität zeigt sich nur an den Oberflächen der Körper.

Der Grund davon ist ein ähnlicher, wie er bei der Entstehung der Indifferenzstelle angegeben worden ist: nach der Mitte der Körper heben entgegengesetzte Elektrizitäten einander mehr und mehr auf.

Wichtig ist endlich noch die Thatsache, daß sich die Elektrizität am stärksten an den Kanten, spitz zulaufenden Enden oder Spitzen und überhaupt an solchen Stellen zeigt, wo viele Oberfläche bei verhältnißmäßig wenigem Stoffe ist, denn in diesen Fällen findet in einem geringeren Maße die Aufhebung der elektrischen Gegensätze benachbarter Theilchen statt, so daß die Wirkung nach außen vergrößert wird.

Nur an einer isolirten und entfernt von anderen Körpern angebrachten Kugel ist die elektrische Vertheilung eine ganz gleichmäßige. Nähert man der Kugel einen Leiter, so ist die Elektrizität an der näheren Stelle bedeutender, als an den entfernteren, weil der Leiter an der der Kugel zugewendeten Seite entgegengesetzte Elektrizität erhält, welche von der Kugel einen Theil anzieht und bindet, so daß sich zur Herstellung des Gleichgewichtes auf ihr dort aufsneue Elektrizität entwickelt.

Weil an den Spitzen eines Körpers die elektrische Kraft am größten ist, entwickelt sie auch in der Umgebung den Gegensatz am stärksten. Obwohl die trockene Luft ein ziemlich schlechter Leiter ist, so

wird sie mittelst einer elektrischen Spitze doch schnell elektrisirt, und geräth dabei in Bewegung: elektrischer Wind. Ist die Spitze positiv elektrisch, so wird das angränzende Lufttheilchen durch Vertheilung in der an der Spitze liegenden Hälfte negativ, an der abgewendeten positiv; die negative wird durch die positive der Spitze aufgehoben und die positive ist nun allein der Spitze gegenüber. Da nun gleichnamige Elektrizitäten einander abstoßen, so wird die positive Luft abgestoßen und macht einem anderen, noch unelektrischen Lufttheilchen Platz, so daß derselbe Vorgang sich so lange wiederholt, als die Spitze noch elektrisch ist und zwar nicht blos in einem von der Spitze ausgehenden Luftstrahle, sondern in einer ganzen Menge ringsum, so daß bei den hier auch erscheinenden kleinen Abgleichungsfunken von der Spitze im Dunkeln ein Strahlenbüschel auszugehen scheint.

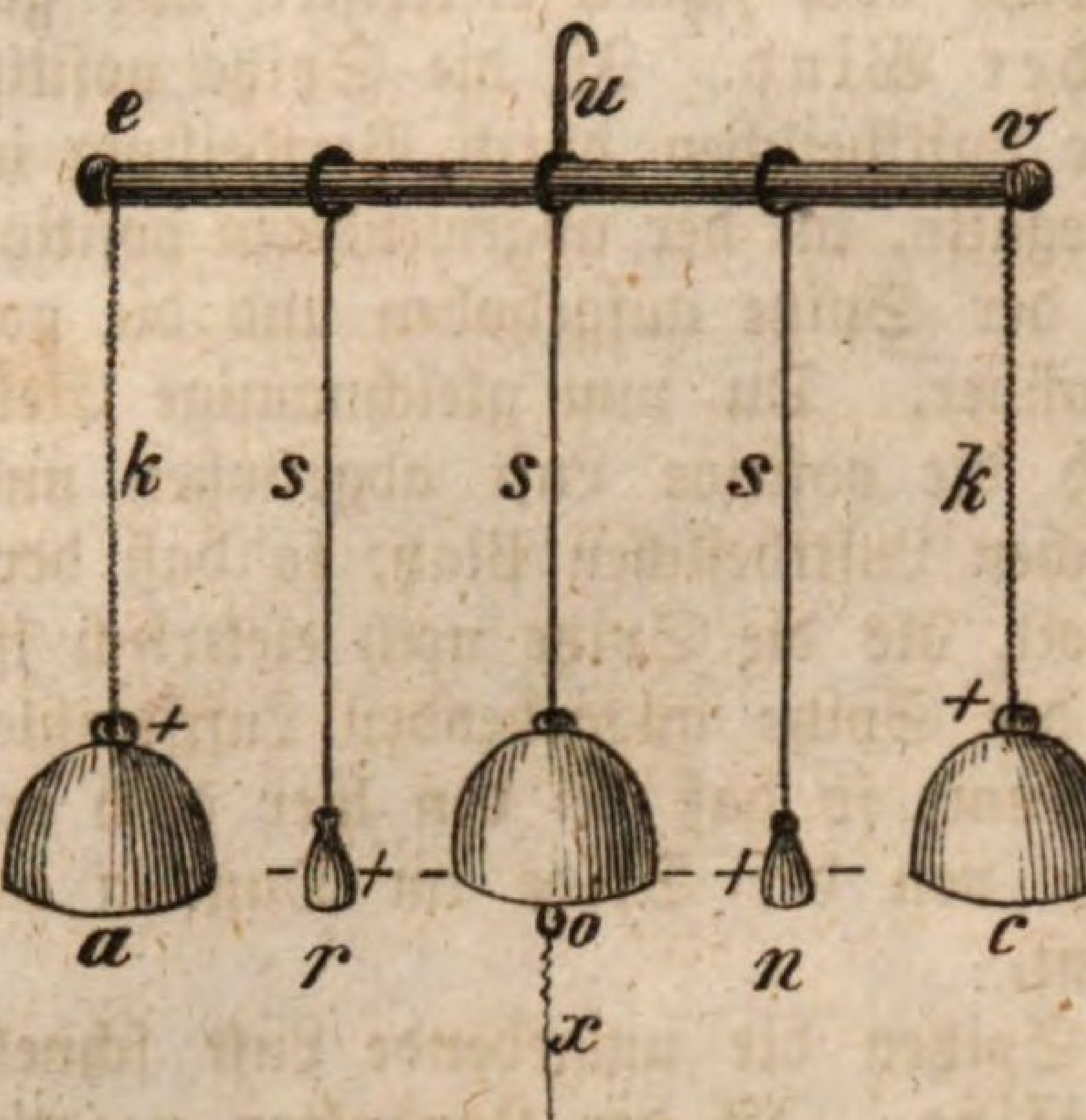
Auf diese Weise wird durch Spitzen die umgebende Luft schnell elektrisch und in diesem Falle ozonisirt. Ist der Konduktor negativ elektrisch und hält man ihm eine mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehende Metallspitze entgegen, so zeigt sich auch an ihr diese Erscheinung. Ist aber die Spitze am negativen Körper, so ist an ihr nur ein leuchtender Punkt zu erkennen.

Aus dem Angeführten ist erklärlich, warum an den Konduktoren alle scharfen Kanten und Spitzen vermieden werden müssen. Wo sie an einem elektrischen Körper sind, zeigt sich ein Glimmlicht von längerer Dauer.

Durch die Elektrisirung der Luft mittelst Spitzen lassen sich auch Bewegungen hervorbringen. Hat man ein kleines und leicht bewegliches Schaufelrad, welches an einer in einer Landschaft als Staffage angebrachten Mühle drehbar ist, und hält man die elektrische Spitze gegen die Schaufeln, so dreht es sich (die elektrische Mühle). — Hat man auf einem elektrischen Konduktor ein um seine Mitte leicht horizontal drehbares und in Spitzen auslaufendes S aus Metall gesetzt, so dreht es sich wie eine Turbine (Bd. I. S. 435), man hat also eine elektrische Turbine. — Geht eine Axe fest durch das S und legt man ihre beiden Theile auf zwei parallele und gegen den Horizont schief geneigte dünne Metallschienen, so dreht es sich auf dieser schiefen Ebene aufwärts, wenn man die Schienen mit dem Konduktor einer in Thätigkeit gesetzten Maschine leitend verbindet. Dies ist die elektrische schiefe Ebene. — Durch diese Bewegung der elektrischen Luft oder durch diesen elektrischen Wind kann man auch eine Kerzenflamme ausblasen.

Auf dem Gesetze der Vertheilung und dem der Anziehung und Abstoßung beruhen eine Menge von Erscheinungen, welche man, namentlich in früheren Zeiten, zur Ueberraschung und Belustigung erfunden hat.

Wie man jetzt elektrische Glockensignale zu praktisch nützlichen Zwecken nicht nur auf den Stationen der Eisenbahnen, sondern auch in

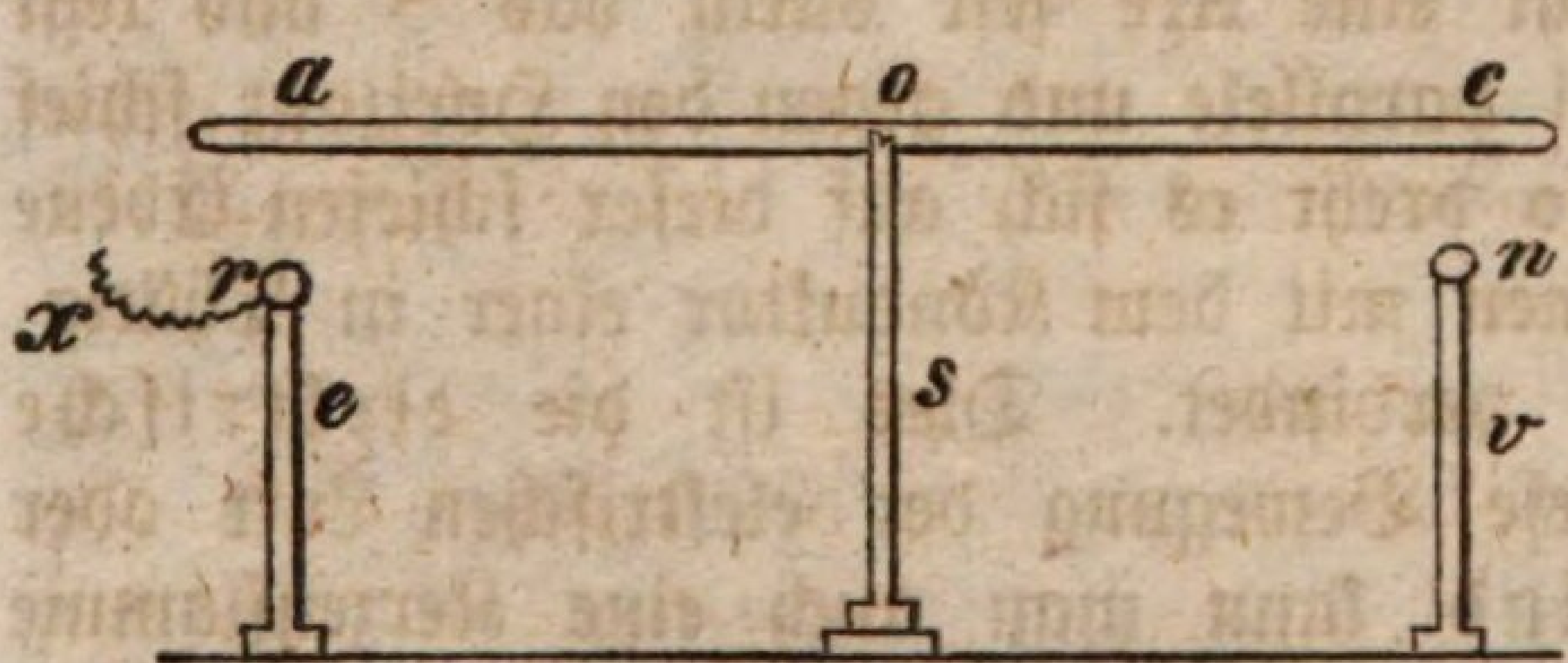


(Fig. 374.)

größeren Gebäuden eingerichtet hat, so benutzte man die durch Reibung erhaltene Elektrizität, um zur Spielerei mehre harmonisch gestimmte Glöckchen selbst in größerer Entfernung von der Maschine tönen zu lassen. In Fig. 374 ist ev ein Metallstab mit kugelförmigen Enden, welcher mittelst eines Metalldrahtes u mit einem positiv elektrischen Konduktor in Verbindung ist; an seinen Enden e und v hängen mittelst Metalldrähten kk die Glocken a und c; an dem mittelsten von den drei Seidenfäden s, s, s hängt eine dritte Glocke o, deren Klöppel durch den Draht x mit der Erde in leitender Verbindung steht, an den beiden anderen hängen Metallklöppel r und n in gleicher Höhe mit den Glocken.

Da die Glocken a und c mit dem Konduktor in unmittelbar leitender Verbindung stehen, so sind sie positiv elektrisch. Jede bringt in dem benachbarten Klöppel eine Vertheilung hervor, zieht demnach den Klöppel an, wobei die negative Elektrizität verschwindet und stößt ihn dann ab, weil er nun auch nur positive Elektrizität hat. Diese positive Elektrizität der Klöppel bringt bei der Annäherung an die Glocke o in dieser ebenfalls eine Vertheilung hervor, so daß ihre negative Elektrizität eine Berührung mit den Klöppeln hervorbringt, diese ihre Elektrizität verlieren, der ursprüngliche Zustand wieder eintritt und dasselbe Spiel sich wiederholt.

Die elektrische Schaukel. Fig. 375 ist mehr ein überraschendes Spielwerk. ac ist ein leichter Stab aus einem leitenden Stoffe, welcher sich um eine durch seine Mitte o gehende Axe auf einem isolirenden Ständer s leicht drehen läßt und auf seinen Enden allenfalls kleine leichte Figuren trägt; auf dem leitenden Ständer v ist ein Metallknopf n, auf dem isolirenden e ein anderer r, welcher mit dem positiven Konduktor der Maschine durch den Leiter x in Verbindung steht.



(Fig. 375.)

Beim Gebrauche wird r positiv, das genäherte Ende a des Stabes negativ, das entferntere c positiv; a wird also von r angezogen und

verliert dadurch die negative Elektrizität, so daß der Stab nur noch positiv ist und von r abgestoßen wird. Dadurch kommt das positive c dem n näher und erregt daselbst negative Elektrizität, wodurch jene Bewegung unterstützt wird, eine Berührung von c und n eintritt und der Stab seine ganze Elektrizität verliert, so daß derselbe, ein Schaukeln des Balkens ac darstellende Vorgang sich wiederholt.

Der elektrische Kugel- oder Puppentanz. Ein an beiden Enden offener niedriger Glaszylinder von etwa 3 bis 4 Zoll Durchmesser wird auf eine Metallplatte gestellt und auch mit einer solchen bedeckt; in den Zylinder kommen eine Menge von Kügelchen aus Sonnenrosenmark oder auch Puppen daraus mit oder ohne Gelenke; die untere Platte wird leitend mit dem Erdboden, die obere mit dem Konduktor einer Elektrisirmaschine verbunden. — Statt der oberen bloßen Platte kann man von ihrer Mitte aus einen starken Metalldraht mit einer Kugel am Ende in den Zylinder etwas herabgehen lassen.

Wird die Maschine in Thätigkeit gesetzt, so gerathen die Kügelchen in eine wilde Bewegung, indem sie theils abwechselnd an die beiden Platten, bald unterwegs aneinander anschlagen, ohne die andere Platte zu erreichen. Der Vorgang läßt sich nach dem bereits Angeführten leicht erklären. Wenn die durch die obere Platte positiv gewordenen Kügelchen von ihr abgestoßen werden und zugleich wegen ihres Gewichtes nach der unteren sich bewegen, so kann es sein, daß sie anderen heraufkommenden, welche auf ihrer oberen Seite negativ sind, allzunahe kommen und es gleichen zwei solche Kugelchen ihre entgegengesetzten Elektrizitäten ab und das erstere erreicht dann den Boden nicht, sondern wird aufsneue angezogen.

So unscheinbar dieser Vorgang ist, so spielt er doch, wie wir sehen werden, bei der Erklärung des Hagels eine bedeutende Rolle.

Einen recht angenehmen Anblick gewähren die sogen. Blitzröhren oder Aronsstäbe. Um Glasröhren von verschiedener Farbe, deren Enden mit Metallfassungen versehen sind, klebt man spiralförmig von einer Fassung bis zur anderen schmale Staniolstreifen von der Form eines Rhomboids mit kleinen Zwischenräumen, so daß die Spitzen benachbarter einander gegenüberstehen.

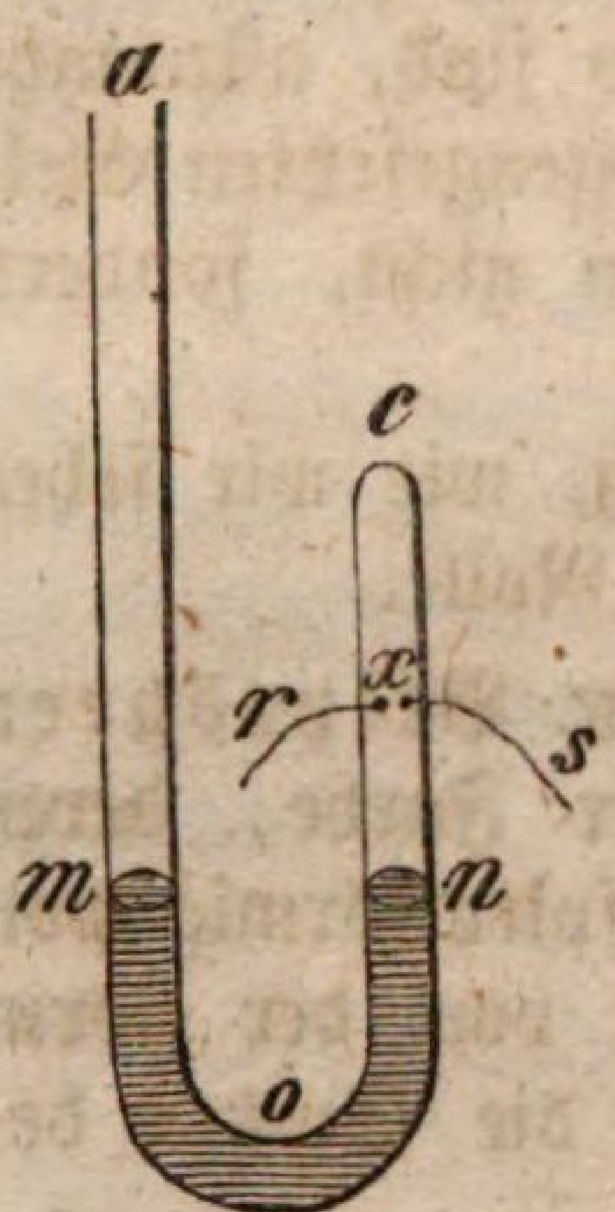
Ist nun die eine Fassung mit dem Konduktor der thätigen Maschine, die andere mit dem Erdboden in leitender Verbindung, so entstehen an allen Zwischenräumen fortwährend hintereinander Fünkchen, welche durch die verschiedenen Farben der Gläser ein angenehmes Farbenspiel geben.

In ähnlicher Weise lassen sich auf ebenen Glastafeln aus Staniolstreifen verschiedene Figuren oder Buchstaben zusammensetzen und durch elektrische Funken im Finstern sichtbar machen; wir können also elektrische Schrift bilden. — Reihet man Metallperlen so auf Seiden-

schnüre, daß sie einen kleinen unveränderlichen Abstand haben, so zeigt sich dieselbe Erscheinung.

Befindet sich ein Mensch auf einem Isolirstuhle und ist er mit dem Konduktor in leitender Verbindung, so kann man aus allen Theilen seines Körpers Funken ziehen, wie aus dem Konduktor selbst; seine Haare gehen auseinander und sträuben sich, weil sie alle gleichnamig elektrisch sind und einander abstoßen; hält ein Anderer die flache Hand vor das Gesicht desselben, so scheint es ihm, als ob er in ein Spinnengewebe gerathen wäre, weil eine elektrische unbedeutende Abgleichung in vielen Punkten zugleich stattfindet und in kurzer Zeit fühlt er sich in Schweiß versetzt, weshalb man auch sagt: er befindet sich in einem elektrischen Bade, was unter Umständen von wohlthätigen Wirkungen sein kann. Bei solchen Personen, deren Nerven sehr reizbar sind, findet sich ein sanftes Zittern über den ganzen Körper ein. Bei mir z. B. finden sich diese Erscheinungen schon ein, wenn ich einige Zeit an der Maschine nur Versuche angestellt habe.

Ueberall sucht die Elektrizität die beweglichen Theile eines Körpers, welche gleichnamige Elektrizität besitzen, auseinander zu treiben, daher bläht sich ein Büschel Baumwolle, welches mittelst eines Drahtes an den Konduktor gehängt ist, auf; der aus einem ebenso angehängten Trichter ausfließende feine Wasserstrahl zertheilt sich; ein Büschel von dünnen Hölzchen, Fäden u. dergl. breitet sich aus u. s. w.



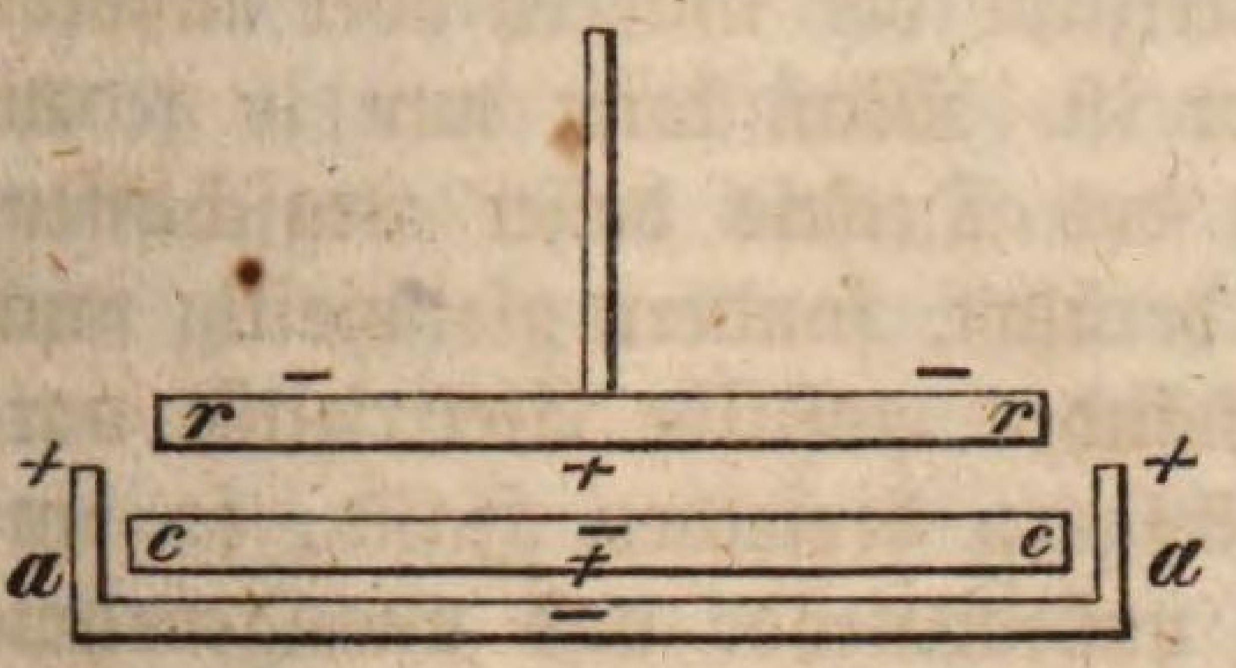
(Fig. 376.)

Wichtig ist, daß durch den elektrischen Schlag die Luft ausgedehnt wird. Man nimmt (Fig. 376) eine zweischenklige Glasröhre aoc, von welcher der eine Schenkel oc geschlossen ist; füllt dieselbe theilweise so mit Wasser, daß es in den beiden Schenkeln bei m und n gleich hoch steht; läßt durch den Theil des geschlossenen Schenkels, welcher sich über dem Wasser befindet, einen eingeschmolzenen Draht rs mit einer kleinen Unterbrechung x innerhalb der Röhre gehen.

Es ist klar, daß die in dem Raume nc abgesperrte Luft dieselbe Dichtigkeit und Druckkraft hat, wie die auf dem offenen Schenkel befindliche. Leitet man nun durch den Draht rs Elektrizität, so wird beim Erscheinen des Funkens bei x das Wasser von m aus in die Höhe getrieben, weil die Luft in nc ausgedehnt wird. — Auch diese Erscheinung ist für die Entstehung des Hagels eine nothwendige Bedingung.

Der Elektrophor. Die an dem Konduktor einer Elektrisirmaschine vorhandene Elektrizität verschwindet sehr bald, selbst bei trockener Luft, nachdem die Erregung an der Scheibe aufgehört hat. Es gibt aber ein Mittel, die erregte Elektrizität durch Wochen und unter

günstigen Umständen selbst Monate zu erhalten und zu benutzen und zwar mittelst eines Elektrizitätsträgers oder Elektrophors.



(Fig. 377.)

Er besteht aus einem Nichtleiter zwischen zwei Leitern. Der Nichtleiter (Fig. 377) ist ein dünner Harzkuchen cc von verschiedener Zusammensetzung: 8 Theile Kolophonium, 1 Thl. Schellack, 1 Thl. venetianischer Terpentin oder auch 10 Gummilack, 3 Harz, 2 venetianischer Terpentin, 2 Wachs, $1/2$ Pech; man gießt die warme Mischung in eine warme meist kreisförmige flache Metallform als Basis aa und sorgt dafür, daß die Oberfläche beim Erstarren nicht blasig, sondern ganz glatt wird; außerdem ist aber eine ebenso geformte, aber etwas kleinere Scheibe rr von Metall oder der Leichtigkeit wegen von Pappdeckel mit einem glatten metallischen Ueberzuge nothwendig, welche durch eine mit Schellack überzogene Glasstange oder durch drei angebundene Seidenschnüre isolirt werden kann und Deckel genannt wird. Von dem Rande der Basis aus geht ein schmaler Staniolstreifen so weit auf die Oberfläche des Kuchens hinein, daß der aufgesetzte Deckel ihn berührt. — Statt des Harzkuchens kann man auch eine Tafel aus Glas oder vulkanisirtem Guttapercha verwenden.

Hat man den Harzkuchen mit einem warmen Katzenfelle gerieben oder mit einem Fuchsschwanze gepeitscht, so ist er auf seiner oberen Fläche negativ nnd dann nur auf der unteren positiv elektrisch, wenn er sehr dünn, etwa 2 Linien stark ist. Bei den weiteren Versuchen kann man annehmen, daß die Basis entweder isolirt, oder mit dem Erdboden in leitender Verbindung ist.

Setzt man den Deckel auf die Basis, so geschieht in jedem der beiden Fälle in ihm eine Vertheilung: seine untere Fläche wird durch den Harzkuchen positiv, die obere negativ elektrisch. Hebt man ihn, ohne daß er mit dem Staniolstreifen oder einem anderen leitenden Körper in Berührung kam, in die Höhe; so zeigt er sich wieder unelektrisch wie er war, indem die beiden entgegengesetzten Elektrizitäten auf ihm, als einem Leiter, ohne Zeichen verschwanden. Wenn man aber den aufgesetzten Deckel an seiner oberen Fläche oder in deren Nähe (am Rande) leitend, z. B. mit einem Finger berührt, so verschwindet unter Funkenerscheinung seine negative Elektrizität und er hat nur noch die positive, welche aber vorläufig noch durch die negative des Kuchens angezogen wird, so daß sie nach außen unwirksam ist. Wird aber der Deckel aufgehoben und aus dem Bereiche der Wirksamkeit des Kuchens gebracht, so bekommt man von ihm durch seine positive Elektrizität einen Funken.

Der Kuchen bringt aber auch in der Basis eine elektrische Vertheilung hervor. Ist er nur negativ, so ist die ihm zunächst gelegene

Fläche der Basis positiv, die entferntere negativ; ist er aber auf seiner unteren Fläche, wenn auch schwächer, positiv, so ist die Vertheilung umgekehrt. Jedenfalls verschwindet die Elektrizität der unteren oder äußeren Fläche, wenn der Elektrophor nicht isolirt ist. Man kann nun in jedem der beiden Fälle die negative Elektrizität des Deckels besser wegschaffen, wenn man nicht blos seine obere Fläche berührt, sondern gleichzeitig auch die Basis, in welcher unter allen Umständen positive Elektrizität vorhanden ist. Thut man dies mit zwei Fingern derselben Hand, so empfindet man in ihr eine oft nicht ganz unbedeutende und unangenehme Erschütterung. Um sie zu vermeiden, ist der Staniolstreifen angebracht, an welchem der Ausgleichungsfunken erscheint. Diese Ausgleichung und Vertilgung der negativen Elektrizität des Deckels ist aber wirksamer, wenn die Basis nicht isolirt ist, weil dann eine unerschöpfliche Quelle positiver Elektrizität die Vertilgung der in beschränktem Maße vorhandenen negativen gründlicher bewirkt.
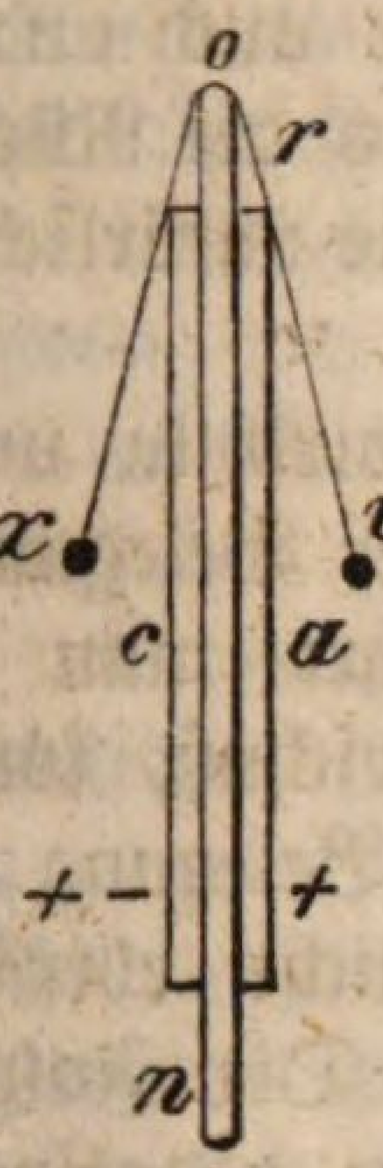
Weil der Harzkuchen in sich selbst den elektrischen Gegensatz fortwährend zu erregen sucht, so ist das Instrument auch bei öfterer Wiederholung des Verfahrens eine lange andauernde Quelle der Elektrizität. — Hat man den Deckel aufgesetzt und ihm seine negative Elektrizität genommen, so beschäftigt die positive durch ihre Anziehung die negative des Kuchens so, daß eine Abgleichung nach außen selbst bei feuchter Luft nicht leicht eintritt, weil Harz zu Wasser keine große Anziehung zeigt. In dieser Beziehung stehen die Glaselektrophore im Nachtheile.

Man wendete früher kleine Elektrophore an, um das Wasserstoffgas der in den Haushaltungen gebräuchlichen Feuerzeuge zu entzünden. Durch den Druck auf einen kleinen Hebel wurde der positiv elektrische Deckel bis an einen Metallknopf gehoben, der mit einem an der Ausströmungsmündung des Gases unterbrochenen Leitungsdrahte verbunden war, so daß dort auch ein Fünkchen entstand, welches zündete.

Man kann sich sehr leicht eine Art Elektrophor herstellen durch ein Quartblatt Maschinenpapier, ein metallenes blankes Kaffeebrett und ein leeres ganz trockenes Trinkglas. Man legt das Blatt Papier an den warmen Kachelofen, reibt es mit der trockenen Hand nach einerlei Richtung und an allen Stellen, und legt es, indem man es mit beiden Händen auf entgegengesetzten Seiten anfaßt, auf das Metallbrett. Das elektrisch gewordene Papier bringt in ihm eine elektrische Vertheilung hervor; berührt man die untere Seite desselben, so bleibt ihm nur die ungleichnamige Elektrizität; hebt man dann das Papier in paralleler Lage eine Strecke empor, so kann man aus dem Brette einen Funken erhalten und dasselbe Verfahren ziemlich oft wiederholen.

Die Verstärkungstafel. Wenn man sehr große Elektrisirmaschinen und Elektrophore anwendet, so kann man allerdings wohl schon ziemlich bedeutende Erfolge erzielen, um die Wirkungen der Elektrizität näher zu untersuchen; aber abgesehen von der Kostspieligkeit

solcher Apparate ist ihre Handhabung sehr unbequem. Schon der berühmte Amerikaner Franklin kam auf den Gedanken, die Eigenschaft der Elektrizität, in ihrer Nachbarschaft den Gegensatz hervorzurufen, zu ihrer eigenen Verstärkung anzuwenden, was aber nur dann gelingen kann, wenn man diese Neigung fortwährend rege erhält, ohne daß eine Verbindung mit der entgegengesetzten Elektrizität eintritt.



(Fig. 378.)

Man nimmt eine reine blasenfreie Glastafel (Fig. 378) rn von beliebiger Gestalt, etwa quadratisch von 1 Fuß Seite, belegt dieselbe auf beiden Seiten, a und c, mit recht glattem Staniol (gewalztem Zinn), wobei man ringsum einen etwa 3 Zoll freien Rand läßt, welcher zur besseren Isolirung mit Schellackfirniß überstrichen wird und hängt über die Kante o zwei isolirte Pendel v und x.

Bringt man die Belegung a in unmittelbar leitende Verbindung oder in Berührung mit dem positiv elektrischen Konduktor oder läßt man von diesem einen Funken überspringen, so ist oder wird sie positiv elektrisch. Durch Vertheilung entsteht nun auf der Belegung c zunächst an a negative und an der Außenfläche positive Elektrizität. Die negative von c kann wegen der durch das Glas bewirkten Entfernung nicht dieselbe Stärke wie die positive des a haben, sondern muß eine etwas geringere besitzen.

Ist die Tafel isolirt, so bestreben die entgegengesetzten Elektrizitäten auf dem Leiter c einander anzuziehen und zu binden, wodurch die positive Elektrizität auf der Belegung a frei ist, abstoßend auf die der Elektrizitätsquelle wirkt und somit für die Annahme eines höheren Grades positiver Elektrizität unempfänglich ist.

Wenn aber die Tafel nicht isolirt ist, sondern die Belegung c mit dem Erdboden in leitende Verbindung gebracht wird; so verschwindet ihre positive Elektrizität, ihre negative zieht die positive von a an und bindet oder beschäftigt sie zum größten Theile, und sie kann von der positiven Quelle wieder positive Elektrizität annehmen, wenn auch weniger, als das erstemal, weil sie noch einen Rest positiver Elektrizität besaß. Es tritt nun sofort auf der Belegung c eine neue Vertheilung ein und wenn man die freie positive von ihr durch Leitung wieder entfernt, so ist a befähigt, wieder noch positive anzunehmen, wenn auch weniger, als das zweitemal.

Derselbe Vorgang findet statt, wenn man, statt auf a einzelne Funken überspringen zu lassen und dabei c gleichzeitig ableitend zu berühren, a fortdauernd mit der Elektrizitätsquelle und c gleichzeitig mit dem Erdboden in leitende Verbindung setzt. — Es ist in beiden Fällen die positive Elektrizität des a etwas stärker als die negative des c und wenn der Ueberschuß des a der Stärke der Elektrizität des mit ihm in Verbindung stehenden oder gebrachten Konduktors entspricht, so hört die

Tafel auf, einen höheren Grad von Elektrizität anzunehmen, oder sie ist, wie man sagt, vollständig geladen mit entgegengesetzten Elektrizitäten auf den beiden Belegungen, wenn man die Leitung aufhebt. Dieses Verfahren kann also nun so lange fortgesetzt werden, bis die Spannung der überschüssigen positiven Elektrizität auf a der Spannung am Konduktor gleich ist.

Ebenso allmählig, als die Tafel geladen wurde, kann sie auch entladen werden. Die Entladung ist aber nichts weiter, als die Rückkehr der Molekel aus der erzwungenen Spannungslage in die natürliche Gleichgewichtslage.

Hängen die isolirten Pendel über die Tafel herab, so wird in unserem Falle der Ueberschuß der freien positiven Elektrizität der Belegung a das Pendel v mit derselben Elektrizität abstoßen. Berührt man a mit dem Finger, so nimmt man ihm nicht nur diesen Ueberschuß, sondern sogar etwas mehr, weil die negative Elektrizität der Belegung c wegen der durch das Glas bewirkten Entfernung von a nicht ebenso viele positive anziehen und binden kann, sondern weniger. Die Folge davon ist, daß jetzt die Belegung c einen Ueberschuß von negativer Elektrizität hat und dieses auch durch eine größere Erhebung des Pendels zeigt. — Berührt man jetzt c ableitend, so nimmt man ihm mehr als diesen Ueberschuß, und nun hat a einen Ueberschuß, der ihm auch genommen werden kann.

So nun kann durch abwechselnde Berührung der beiden Belegungen die Tafel allmählig von ihrer Elektrizität befreit oder sie kann entladen werden, indem der allmählig immer kleiner werdende Ueberschuß endlich verschwindend klein geworden ist.

Die Stärke der Ladung hängt von der Dicke und der isolirenden Beschaffenheit des Glases, von der Kraft der Elektrizitätsquelle und von der Größe der Belegungen ab.

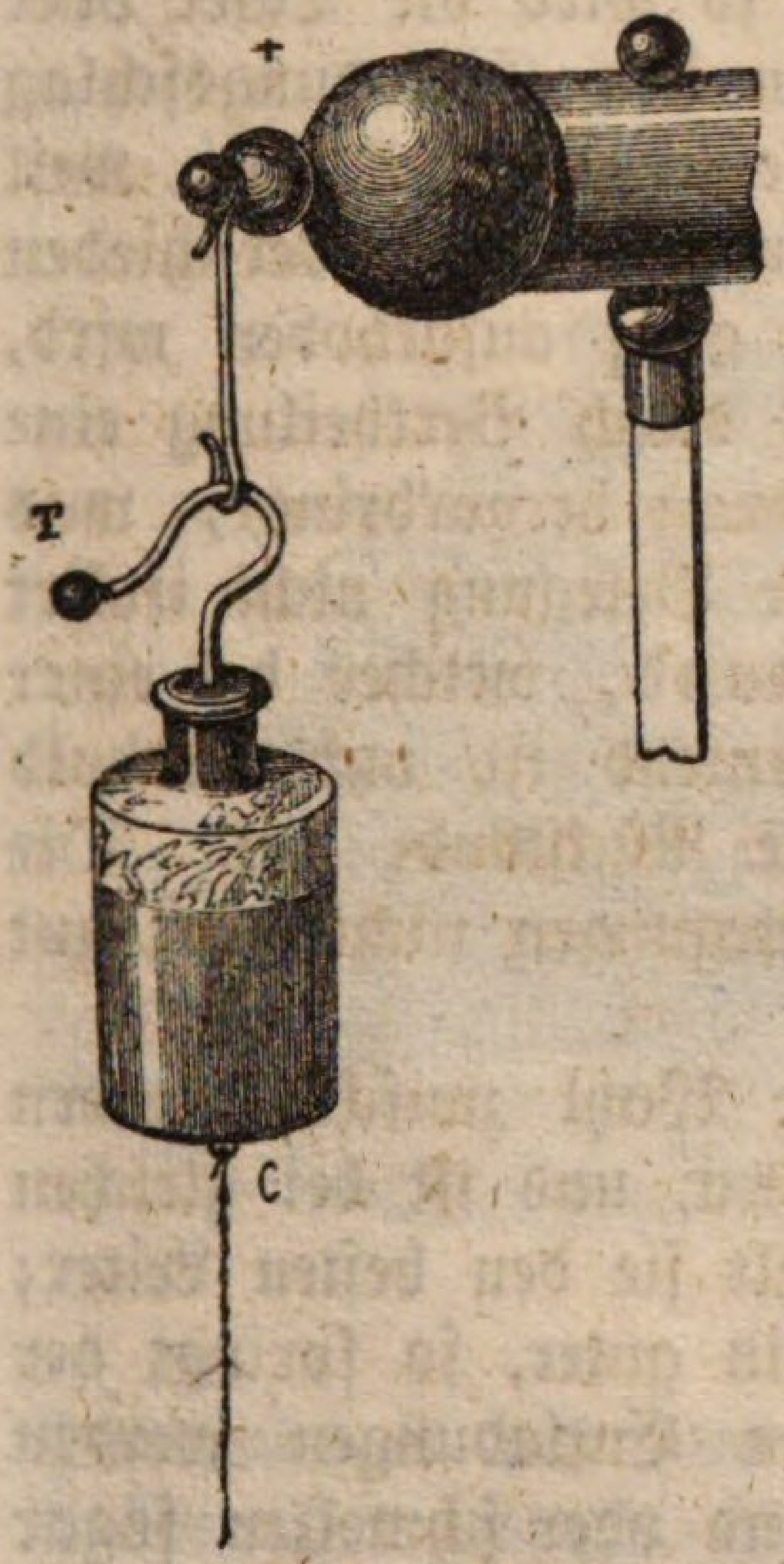
Abgesehen davon, daß nicht alle Glassorten gleichgut isoliren, wird eine dünnere Glastafel eine stärkere elektrische Spannung zulassen, als eine dickere; denn die mit der Quelle der Elektrizität in Verbindung stehende Belegung kann in jenem Falle auf der anderen Belegung die entgegengesetzte Elektrizität kräftiger binden und wird nach der ableiten-Berührung ihrerseits auch kräftiger zurückwirken, als in diesem Falle, so daß die erste Belegung zu einer verstärkten Annahme neuer Elektrizität befähigt ist. — Ist freilich das Glas zu dünn oder hat es blasige Stellen, so ist eher eine mit einer Durchbohrung verbundene Vereinigung beider Elektrizitäten zu besorgen, als bei dem dicken Glase.

Der Konduktor einer jeden bestimmten Elektrisirmaschine nimmt bei einem bestimmten Feuchtigkeitszustande der atmosphärischen Luft einen bestimmten Grad von Elektrizität an und dieser bedingt auch die erreichbare Stärke der Ladung einer bestimmten Tafel; denn ist die Tafel isolirt und die eine Belegung a mit dem Konduktor in leitender Verbin-

dung, so ist die Stärke s ihrer freien Elektrizität die des Konduktors und die Tafel kann nicht geladen werden, weil der Verbindung der elektrischen Gegensätze auf dem Leiter c nach dem Entfernen der Tafel vom Konduktor nichts im Wege steht. — Ist die Belegung c nicht isolirt, so kann ihre Elektrizität, wenn ihre Stärke auch das n fache von s geworden ist, höchstens nur ebensoviel von der auf a binden und es bleibt auf diesem immer noch derselbe Ueberschuß. Je größer s ist, desto größer ist natürlich auch ns.

Endlich ist die Stärke der Ladung abhängig von der Flächenausdehnung der beiden Belegungen, weil auf jedem ununterbrochenen Leiter von gleichmäßiger Dicke alle Flächenantheile ein gleiches Recht auf den elektrischen Zustand haben.

Die Verstärkungsflasche. Die Tafelform zur Darstellung eines elektrischen Verstärkungsapparates ist für die Handhabung unbequem. Da es nur darauf ankommt, zwei Leiter durch einen möglichst dünnen Nichtleiter, dessen Theile nicht leicht verschiebbar oder geeignet sind, die Elektrizität durch ihre Bewegung fortzuführen, wie etwa die Luft, zu trennen; so hat man entweder zylinderförmige Gläser mit einem Boden oder Flaschen genommen, dieselben von innen und von außen mit metallischen Belegungen bis zu einer gewissen Höhe versehen und nur noch dafür gesorgt, daß man zu der inneren Belegung leicht gelangen kann. Zu dem letzteren Zwecke geht von dem auch mit Metall belegten Boden ein bis über den Rand oder den Hals des Glases hervorragender Metallstab oder dicker, entweder grader oder gebogener Draht mit einem kugelförmigen Knopfe T, wie es Fig. 379 darstellt.



(Fig. 379.)

Man kann nun, um eine solche kleistsche oder leidener Flasche zu laden, ihre innere Belegung durch einen Leiter an den Konduktor hängen und von der äußeren ein Drahtkettchen C oder einen Spiraldraht bis auf den Erdboden gehen lassen oder man hält die Flasche mit der Hand so, daß der Knopf den Konduktor der in Thätigkeit gesetzten Maschine entweder berührt oder daß Funken überspringen. Letzteres gibt auch im Körper jedesmal eine kleine Erschütterung, was auf die Dauer unangenehm werden kann. — Ist der Konduktor positiv elektrisch, so erhält die innere Belegung auch positive Elektrizität und man sagt: die Flasche ist positiv geladen. Brächte man die äußere Belegung mit dem Konduktor, die innere mit der Erde in leitende Verbindung, so würde sie negativ geladen.

Auch durch einen Elektrophor läßt sich die Flasche positiv oder negativ laden. Um sie positiv zu laden, kann man die freigewordene positive des von der Basis abgehobenen Deckels zur Entstehung des Funkens auf der inneren Belegung der nicht isolirten Flasche verwenden oder man kann die Flasche auf den Deckel stellen, wodurch ihre äußere Belegung eine Fortsetzung der oberen Fläche desselben und somit durch die vom Kuchen bewirkte Vertheilung auch negativ wird; die negative der äußeren Belegung bringt in der inneren eine Vertheilung hervor, so daß der Knopf freie negative Elektrizität hat, die ihm durch Berührung mit dem Finger entzogen wird, wodurch die innere Belegung nur noch positiv ist. Hebt man den Deckel mit der Flasche isolirt ab und nimmt man dem ersteren die von der negativen Elektrizität der Basis angezogen gewesene positive, so ist er und die äußere Belegung nur noch negativ und die Flasche somit im Ladungszustande.

Die Entladung der Tafel oder Flasche geschieht dadurch, daß man die beiden Belegungen durch einen Leiter mit einander verbindet. Das zu diesem Zwecke geeignetste Mittel ist der Auslader. Er besteht aus zwei bogenförmig gekrümmten starken Messingdrähten, welche an dem einen Ende mittelst Charnieren in ein Messingstück an einem Glasstabe beweglich befestigt sind und an dem anderen Ende zwei kleine Kugeln tragen. Die Kugeln können einander also nach Belieben genähert werden.

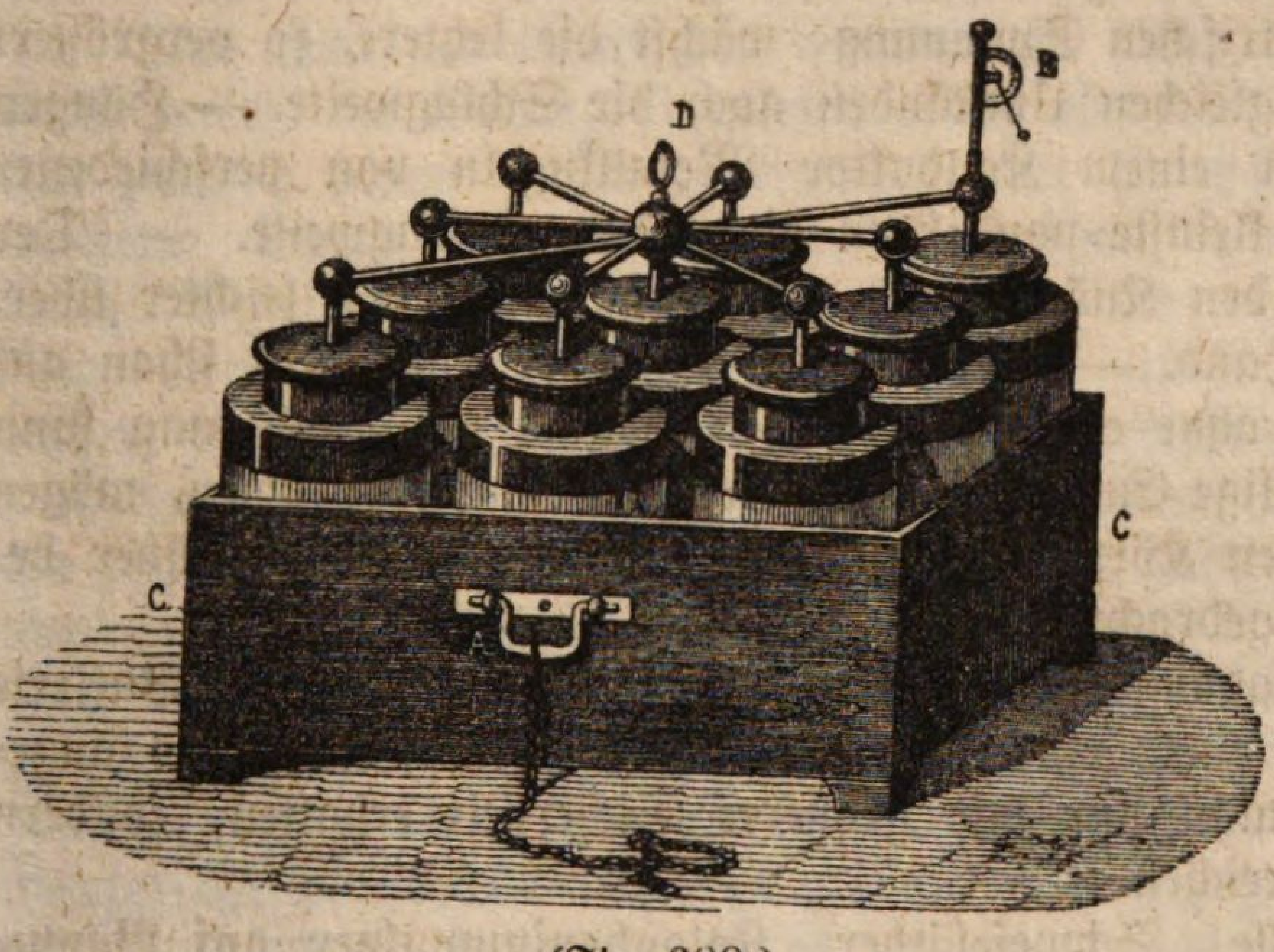
Hält man den Auslader am Glasstabe, bringt man die eine Kugel an die äußere, die andere an die innere Belegung (bei der Flasche an den Knopf), gleichgiltig, was man zuerst thut; so wird die Tafel oder Flasche fast vollständig entladen, ohne daß man den Entladungsschlag empfindet. — Die gänzliche Entladung ist auf einmal unmöglich, weil die Stärke der Elektrizität in den beiden Belegungen etwas verschieden ist und bei der Abgleichung nur die schwächere ganz aufgehoben wird, während der Ueberfluß von der stärkeren sofort durch Vertheilung eine neue, freilich verhältnißmäßig sehr schwache Ladung hervorbringt, was um so leichter geschehen kann, wenn die andere Belegung nicht isolirt ist. Diese neue Ladung nennt man den Rückstand, welcher bei einer starken ursprünglichen Ladung nicht ganz unbedeutend ist und deshalb sogar noch neue immer unbedeutender werdende Rückstände hat. Die Rückstände sind auch dann stärker, wenn die Belegungen nicht ganz gut ableiten.

Hat die Elektrizität bei der Entladung die Wahl zwischen Leitern von verschiedener Länge, so wählt sie den kürzesten, und ist bei gleichen Längen die Leitungsfähigkeit verschieden, so wählt sie den besten Leiter; ist neben einem schlechten und zu dünnen Leiter ein guter, so springt der Funke wohl auf den guten über. Bei starken Entladungen werden dickere Metalldrähte nur warm, aber dünne glühend oder schmelzen sogar und die zu Kügelchen geschmolzenen Theile sind hohl.

Der elektrische Zustand der Ladungsflasche läßt sich näher untersuchen, wenn man die beiden Belegungen abnehmen kann. Zu diesem Zwecke hat man einen Becher von glattem Messingbleche, in diesen paßt genau ein Glasbecher, dessen Rand etwa 2 Zoll überragt und in diesen ein Metallbecher mit einem Knopfe an einem vom Boden aufsteigenden Drahte. Hat man diese drei Theile in dieser Ordnung zusammengesetzt, so bilden sie eine Verstärkungsflasche mit beweglichen Belegungen. Nun ladet man die Flasche, stellt sie auf einen Harzkuchen, nimmt zuerst die innere Belegung heraus, wobei man wegen der überschüssigen Elektrizität der inneren Belegung einen kleinen Funken erhält, dann den Glasbecher, greift endlich auch die äußere Belegung an und bringt sie sogar mit der inneren in unmittelbare Berührung; so zeigt sich doch hierbei keine Spur von Elektrizität. Setzt man nun die Flasche schnell wieder zusammen, so zeigt sie wieder fast ihre volle frühere Ladung.

Da man die beiden Belegungen sowohl einzeln mit der leitenden Hand, als auch mit einander zur Berührung gebracht hat, so ist an ihnen die Elektrizität nicht vorhanden, sondern an den beiden Glasflächen, von denen sie an das Metall abgegeben wird, wenn man den Apparat zusammensetzt.

Batterie. Flaschen mit größeren Oberflächen werden übrigens unter gleichen Umständen zwar eine stärkere Ladung gestatten, als kleinere, aber allzugroße Flaschen lassen sich weniger leicht fehlerfrei herstellen und sind auch für den Gebrauch unbequem. Deshalb hat man eine beliebige Anzahl kleinerer Flaschen (Fig. 380) zu einer gemeinschaftlichen Wirkung so zusammengesetzt, daß von ihnen sowohl alle inneren Belegungen, als auch alle äußeren für sich durch eine gute Leitung verbunden sind. Die äußeren Belegungen bekommen dadurch eine gemeinschaftliche Leitung, daß man sie in einen auf der Innenfläche mit Staniol belegten Kasten stellt, dessen Handhabe A mit dem Staniol in metallischer Verbindung steht; die Knöpfe der inneren Belegungen sind von der mittelsten Flasche aus, deren Knopf einen Ring D tragen kann, durch starke Metalldrähte unter-



(Fig. 380.)

einander verbunden. Ueberdies läßt sich auf einem der Knöpfe noch ein Quadrantenelektrometer E anbringen, um den Grad der elektrischen Spannung beim Laden zu erkennen. Diese Vorrichtung wird eine elektrische Batterie genannt.

Beim Laden wird D mit dem Konduktor und A mit dem Erdboden durch Leitung verbunden. Nimmt man nach geschehener Ladung diese Leitungen ab, so wird die Entladung durch den allgemeinen Auslader bewirkt, indem man A als Repräsentant der äußeren und irgend einen Knopf als Repräsentanten der inneren Belegungen berührt.

Bei größeren Batterien sind nicht nur die ersten Entladungsschläge, sondern selbst die Rückstände so bedeutend, daß die größte Vorsicht nothwendig ist, um die Entladung nicht durch den eigenen Körper gehen zu lassen, was geschehen würde, wenn man mit der einen Hand die äußere, mit der anderen die innere Belegung berühren oder ihnen auch nur zu nahe kommen wollte.

Es gibt nämlich für jeden Grad der Elektrizität eines Körpers von bestimmter Gestalt und für jeden ihm genäherten Leiter von einer gewissen Leitungsfähigkeit und Form eine bestimmte Entfernung beider Körper, bei welcher, als der größten, soeben die Entladung geschieht und diese Entfernung heißt die Schlagweite. Verdichtung der Luft vermindert die Schlagweite, weil dichtere Luft besser isolirt, als dünnere bei demselben Feuchtigkeitszustande. Je kleiner die Oberflächen, sowohl des elektrischen, als auch des unelektrischen genäherten Theiles zweier Körper sind und je besser der letztere leitet oder je leichter er eine Vertheilung an sich hervorbringen läßt, desto größer ist die Schlagweite bei einer bestimmten elektrischen Spannung; wächst die letztere, so vergrößert sich unter übrigens gleichen Umständen auch die Schlagweite. — Hängen mittelst Drähten an einem Konduktor Metallkugeln von verschiedener Größe, so hat die kleinste von ihnen die größte Schlagweite. — Der Funke springt auf den Knöchel des gekrümmten Fingers leichter über, als auf die flache Hand. — Bei Spitzen tritt der Lichtschein schon auf große Entfernungen ohne einen eigentlichen Schlag ein, und man kann durch sie eine allmählige Entladung ohne Erschütterung vornehmen, mögen sie an dem elektrischen Körper selbst, oder an den ihnen gegenüber befindlichen Leitern angebracht sein.

Durch die Entladungsschläge einer Verstärkungsflasche oder Batterie lassen sich die durch einen einfachen Funken der Maschine bereits angeführten Wirkungen nicht nur mit größerer Sicherheit erhalten, sondern auch noch andere erreichen.

Schießbaumwolle, Schwefeläther, Kolophoniumpulver auf Baumwolle u. a. Körper lassen sich mit Leichtigkeit an jeder unterbrochenen Stelle des Leitungsdrahtes, wo auch nur ein Fünkchen entsteht, anzünden. Ebenso Knallgas oder selbst nur ein Gemenge aus Wasserstoffgas (Bd. II., S. 136) und atmosphärischer Luft mit ihrem Antheile von

Sauerstoff, was man zu einer sogen. elektrischen Pistole verwendet. In der Nähe des Bodens eines Pistolenrohres aus dünnem Blech ist der durch die Wände isolirt gehende Leitungsdraht etwas unterbrochen; in das mit der Mündung nach unten gehaltene Rohr läßt man Wasserstoff steigen, sorgt aber dafür, daß etwas atmosphärische Luft darin bleibe oder nachträglich hineingelassen werde; dann verschließt man die Mündung mit einem gut passenden Korke und sowie der Entladungsfunke entsteht, springt der Kork mit einem ziemlich starken Knalle heraus.

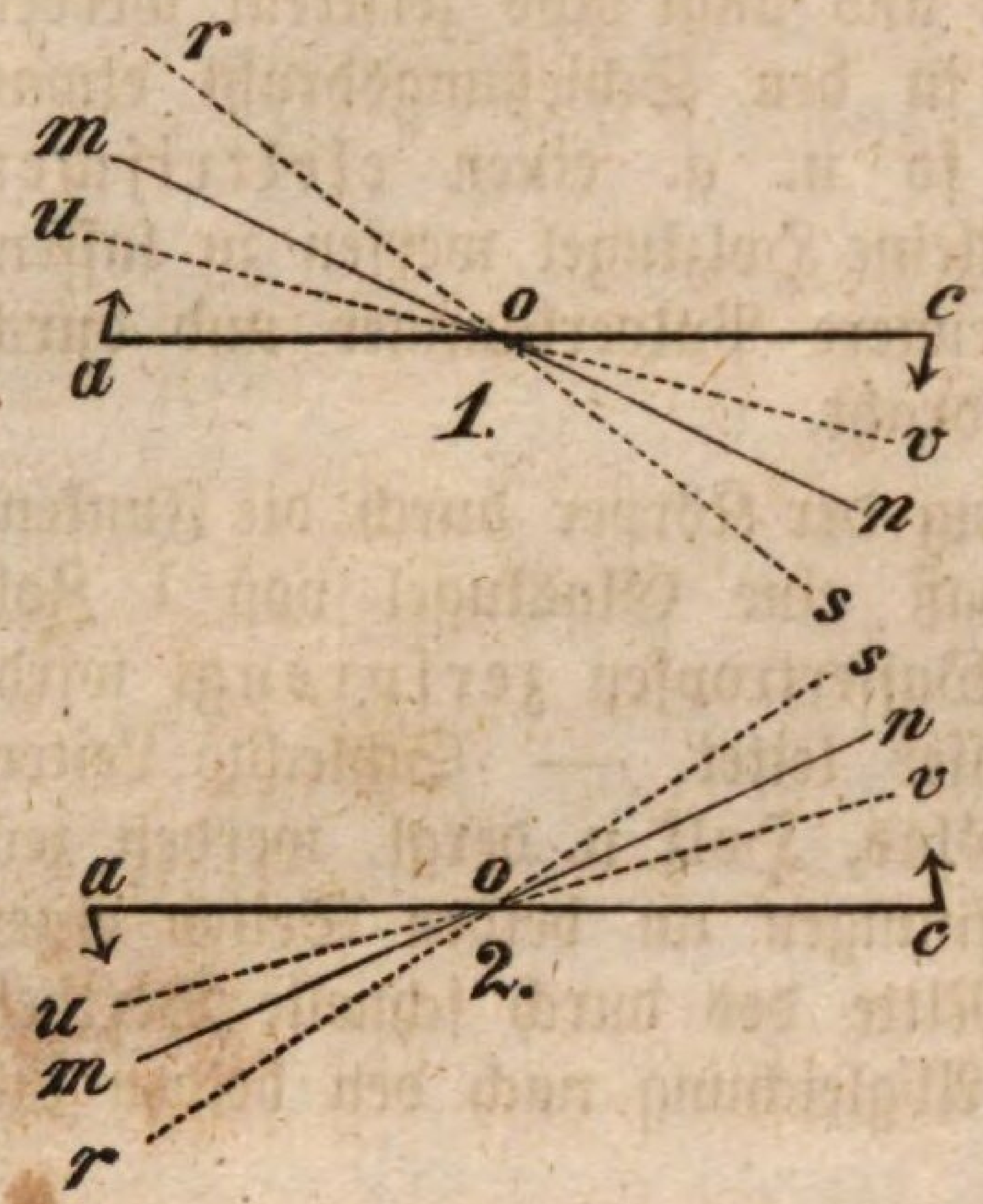
Schießpulver verlangt schon einen stärkeren Funken und eine etwas verzögerte Entladung, wenn es entzündet und nicht blos zerstreut werden soll. Zu diesem Zwecke schaltet man in den Schießungsdraht etwas feuchten Bindfaden ein. Man kann so u. a. einen elektrischen Mörser herstellen, um aus ihm eine kleine Holzkugel werfen zu lassen. Im Hintergrunde des Rohres ist die engere Pulverkammer und durch sie geht der dort unterbrochene Leitungsdraht.

Wie stark die Kraft der Ausdehnung der Körper durch die Funkenentladung ist, zeigt sich u. a. darin, daß eine Glaskugel von 1 Zoll Wandstärke mit einem eingeschlossenen Wassertropfen zersprengt wird, wenn man den Schlag durch das Wasser leitet. — Schlechte Leiter, wie Papier, Pappdeckel (Spielkarten), Glas, Holz u. dergl. werden zerrissen oder durchbohrt, wobei die Oeffnungen an beiden Seiten einen erhabenen Rand zeigen, weil von der Mitte des durch schnelle Vertheilung elektrisch gewordenen Körpers die Abgleichung nach den beiden äußeren Gegensätzen stattfindet.

Das Licht des elektrischen Funkens ist fähig, in anderen Körpern, durch welche die Elektrizität geleitet wird, ebenfalls Licht und sogar auf eine ziemlich lange Dauer zu erzeugen oder sie phosphoreszireu zu machen. Dahin gehören: Kreide, Pfeifenthon, Bimstein, Zucker, Flußspath, Bergkrystall, Vogeleier, manche Früchte, wie Zitronen, Aepfel, kleine Melonen. — Der Entladungsfunke ist um so intensiver und glänzender, je dichter und trockener die Luft ist, welche er durchbricht. Wenn man daher die Luft in einer Glasglocke verdünnt und in ihr den Funken will erscheinen lassen, so breitet sich das Licht um so mehr aus, je weniger dicht die Luft ist und zeigt sich namentlich im luftleeren Raume ganz ausgebreitet mit einer röthlichen und violetten Färbung und dunklen Querstreifen. Man kann in den Raum die Dämpfe flüchtiger Oele bringen und bekommt dadurch verschiedene Farben, wie auch schon der überspringende Funke verschieden gefärbt ist nach den Metallen, aus denen der Leitungsdraht besteht, denn es werden von diesen kleine Theilchen in glühendem Zustande mit fortgerissen.

Wenn man bei einem guten Barometer das Quecksilber in der torizellischen Leere hin und her gehen läßt, so leuchtet sie im Dunkeln auch wegen der durch diese Reibung daselbst entwickelten Elektrizität.

Wesen der Elektrizität. Es ist gewiß vernünftig, wenn wir uns auch in Betreff der geheimsten und verwickeltsten Erscheinungen eine möglichst klare und alle Umstände aufhellende Vorstellung von dem eigentlichen Vorgange derselben zu machen suchen. Obwohl erst der ganze Zusammenhang der elektrischen mit anderen, noch erst anzuführenden Erscheinungen uns in den Stand setzen wird, eine in jeder Beziehung hoffentlich klare Einsicht zu erlangen, so will ich es doch hier schon versuchen, meine Ansicht kurz zu entwickeln.



(Fig. 381.)

Denken wir uns, daß in Fig. 381 (1) ac die Gleichgewichtslage eines zu einem unelektrischen Körper gehörigen Molekels und o sein Schwerpunkt sei. Wenn irgend eine Kraft es zwingt, sich in die Lage mn zu begeben, so wird es immerfort nach seiner früheren Ruhelage, in welcher es mit den anderen Molekeln von derselben Lage den ganzen Körper bildete, zurückkehren wollen. Es ist also die mn die Spannungslage und wenn es in die Lage ac zurückkehrt, so ist es entladen. Je weiter es aus seiner Ruhelage gebracht wird, oder je größer der Drehungswinkel ist, desto stärker ist die Ladung und auch die Entladung: uv bedeutet die schwächere und rs die stärkere Ladung.

In jedem einzelnen Molekel liegen somit zwei einander entgegengesetzte Kräfte, denn die Richtung der Bewegung während der Schwingung ist von oa entgegengesetzt der von oc. Aber auch oa selbst kann eine der vorigen entgegengesetzte Kraft zeigen, nämlich wenn die Richtung seiner Bewegung selbst eine entgegengesetzte ist, wie es in Fig. (2) dargestellt ist. Das ist nichts anderes, als was in der früheren Behauptung aufgestellt wurde: jeder Körper kann jede Elektrizität annehmen.

Somit ist also die durch Reibung erhaltene Elektrizität eine Schwingungserscheinung der Molekel um ihre Gleichgewichtspunkte vorläufig innerhalb solcher Gränzen, daß dadurch der Zusammenhang nicht unterbrochen wird. Aber diese in Spannung erhaltene Elektrizität besteht nicht in einer fortdauernden Schwingung, sondern in einer einseitig festgehaltenen.

Man kann den Vorgang durch einen ganz einfachen Versuch veranschaulichen. Man bringt auf den Konduktor einer in Thätigkeit versetzten Elektrisirmaschine einen Tropfen heißen Siegellacks und verlängert denselben durch Wegziehen mittelst einer Siegellackstange zu einem ganz

dünnen Faden. Untersucht man die feinsten dieser Fäden mit einem Mikroskope, so zeigen sie hohle Spiralen, welche auf dem positiven Konduktor eine Windung nach rechts, auf dem negativen eine nach links haben. Sind die Fäden dicker, so sind sie nicht hohl, zeigen aber die Spiralen äußerlich und zwar auf dem positiven Konduktor breitere eingedrückte, auf dem negativen breitere erhabene Windungen.

Diese Spiralen sind die natürlichen Folgen der von allen Molekeln während des Ausziehens des Fadens rings um ihn nach derselben Richtung ausgeführten einseitigen Schwingungen. Wenn die oben gegebene Darstellung festgehalten wird, so ist es auch erklärlich, weshalb die Spiralen der negativen Elektrizität eine entgegengesetzte Windung von denen der positiven haben, denn die Bewegungsrichtungen von oa sind in den beiden Fällen einander entgegengesetzt.

Wenn diese Schwingungen schnell hintereinander wiederkehren und auf eine ruhende Flüssigkeit wirken könnten, so würden sie in dieser eine Bewegung verursachen, welche bei einem runden Drahte wegen der von allen seinen an dem Umfange liegenden Molekeln nach derselben Richtung ausgeübten Stöße eine drehende Bewegung der Flüssigkeit werden mußte. In der That werden wir in späteren Betrachtungen diese von Elektrizität hervorgebrachte Erscheinung kennen lernen und somit eine neue Stütze für die obige Ansicht, welche dann noch weiter begründet werden soll, erhalten.

Die übrigen durch die Elektrizität hervorgebrachten Wirkungen werden wir später besprechen, wenn wir zu den Wechselwirkungen der schwingenden Bewegungen und dabei auch auf das Wesen des elektrischen Spannungszustandes kommen werden. Wir wollen jetzt nur noch eine hierher gehörige imposante Erscheinung besprechen, nämlich:

Das Gewitter. Die Luft ist still, schwül und wenig klar, aber ohne bedeutende Wolken, wir fühlen in uns eine drückende Gluth, Mattigkeit ergreift den Einen, eine fieberhafte Nervenerregung den Andern, wir athmen mit Unlust die glühende Luft, die Thiere suchen ängstlich sich Schlupfwinkel auf, um sich zu schützen und zu verbergen, als drohe allem Leben eine große Gefahr, die ganze Natur erwartet mit ängstlichem Schweigen ein mächtiges Ereigniß. Da ziehen sich schnell Wolken mit gelbröthlicher Färbung zusammen; man erkennt in ihnen ein unsicheres Wogen und Schwanken der Dünste, sie ballen sich bald zu mächtigen finsteren Haufen, ein wirbelnder, staubaufregender Sturmwind erhebt sich, der Tag verwandelt sich fast in Nacht, ein bläulicher im Zickzack hinfahrender Blitz durchzuckt die Finsterniß und erleuchtet auf einen Augenblick die wunderbar gefärbte Landschaft, ein gewaltiges Krachen und ein rollender Donner folgt, von welchem der Erdboden erzittert und der schwache Mensch fühlt sich unmächtig gegenüber den Gewalten der Natur. Blitz folgt auf Blitz, Donner auf Donner; es fällt ein kühlender Regen in gewaltigen Tropfen, bisweilen untermischt mit

Schlossen, der Sturm hat nachgelassen, während noch Blitze und Donner mit folgenden Regenschauern oder einem länger anhaltenden sanften Regen fortdauern und die Wolken ihren Reichthum auf die schmachtende Erde ausschütten; die Luft wird heiter, die Sonne lacht wieder über die erwachende Natur, der Wurm selbst kriecht wieder aus der Tiefe des Erdbodens, der Vogel singt wieder fröhlich sein Lied und der Mensch fühlt sich wieder erleichtert und athmet frei von der Angst die balsamische Luft. Wir hatten ein Gewitter und wohl uns, wenn der Blitz nicht zündete und die Habe des Armen wie des Reichen vernichtete oder das theure Leben von Menschen zerstörte oder lähmte!

Erst zu Anfange des vorigen Jahrhunderts wurde erkannt, daß das Gewitter eine elektrische Erscheinung sei. Im Jahre 1708 verglich Wall den elektrischen Funken zwar schon mit dem Blitze, aber erst Franklin, einer der gediegensten und edelsten Menschen, die je die Erde getragen, stellte als gemeinschaftliche Eigenschaften auf:

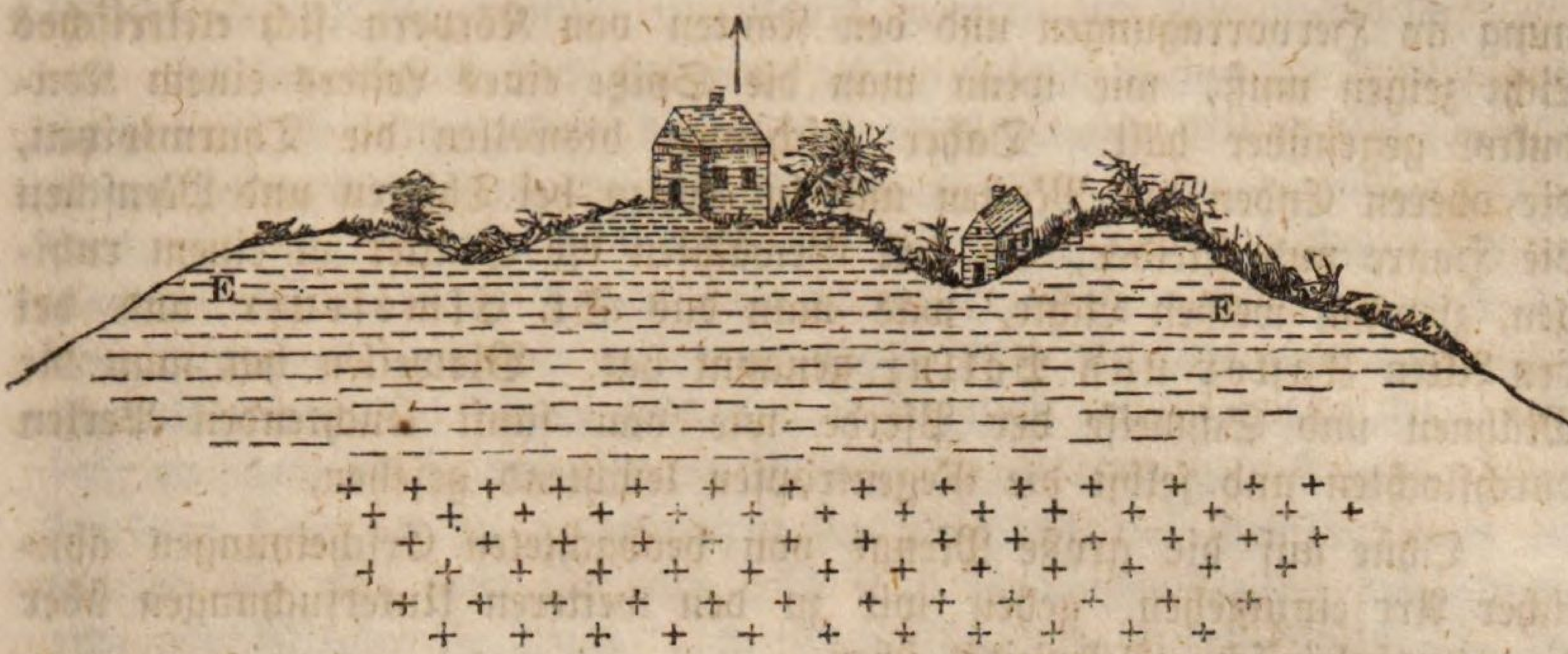
> beide leuchten, haben gleiche Farbe, gehen im Zickzack, verschwinden augenblicklich, lassen sich durch Metalle leicht ableiten, verursachen ein Knallen oder Krachen im Augenblicke der Entstehung, durchschlagen die Körper, durch welche sie ihren Weg nehmen, tödten Thiere oder Menschen, schmelzen Metalle, zünden brennbare Stoffe an und verbreiten einen schweflichen Geruch.

Er erkannte ferner, daß die Elektrizität durch Spitzen angezogen werde und daß dieses ein Mittel sei, zu untersuchen, ob in den Gewitterwolken Elektrizität wirke, und sie unschädlich abzuleiten. Dalibard zu Marly-la-Ville stellte später eine runde, oben zugespitzte und unten isolirte Metallstange auf und konnte, als eine Gewitterwolke darüber stand, starke glänzende Funken von dem unteren Ende erhalten; Franklin selbst ließ während eines Gewitters einen kleineren Drachen steigen und fand das untere Ende der Schnur elektrisch; aber Romas führte in Frankreich den Versuch im Großen aus, indem er in die Schnur Metalldrähte einflocht und erhielt die großartigsten Wirkungen, denn aus dem unteren Ende der Leitung entwickelten sich Funken von 9 bis 10 Fuß Länge, welche ein Krachen wie von einem Pistolenschusse erzeugten. Richmann hatte sich vom Dache aus in seine Studirstube eine Leitung gemacht, um die Luftelektrizität zu untersuchen; er wurde aber am 6. August 1753 ein Opfer seiner Forschungen, indem ihn ein Schlag augenblicklich tödtete.

Wenn nun auch unwiderleglich feststand, daß das Gewitter eine elektrische Naturerscheinung ist; so blieben doch für die Erforschung ihrer Quelle und des ganzen Verlaufes noch viele Fragen zu beantworten.

Durch unmittelbare Beobachtung an etwa 30 Fuß langen gut isolirten und an hohen freien Punkten aufgestellte Metallstangen, deren unteres Ende mit Elektroskopen in Verbindung gesetzt wurde, ist nach-

gewiesen worden, daß die Atmosphäre jederzeit in einer gewissen elektrischen Spannung sich befindet. Bei heiterem Himmel ist die Luft positiv elektrisch und zwar je höher, desto stärker. Ist nun die Luft an der Erdoberfläche trocken, so bringt sie in derselben, wie es Fig. 382 an-



(Fig. 382.)

deutet, eine elektrische Vertheilung hervor: die näheren und oberen Orte werden negativ elektrisch, die entfernteren und tieferen positiv. Diese positive Elektrizität ist aber wegen der so großen Ausdehnung des Erdkörpers nicht nachweisbar, wohl aber die negative, denn z. B. die Wassertropfen eines Springbrunnens zeigen sich negativ; indeß ist die Luft in einer Höhe von einigen Fußen meist indifferent. Wegen der großen Ländermassen in der nördlichen Halbkugel ist die negative Elektrizität des Erdkörpers hier bedeutender, als in der südlichen.

Die berühmten Physiker Biot und Gay-Lussac ließen bei ihrer Luftfahrt aus der Gondel einen 15 Meter langen Metalldraht herab, welcher durch eine Kugel gespannt wurde und fanden ihn oben stets negativ. Dieses bestätigt die durch andere Naturforscher auf hohen Bergen unmittelbar erhaltene Thatsache, daß höhere Schichten der Atmosphäre stärker positiv elektrisch sind, als tiefere. Der Metalldraht wird nämlich an seinem oberen Ende durch die stärkere positive Elektrizität auch stärker negativ, als das untere es wird durch die schwächere positive, also muß die Gesammtwirkung in der That sich als negative Elektrizität geltend machen.

Ist die Luft nicht heiter, sondern mit Dünsten erfüllt, so wird die positive Elektrizität der Atmosphäre an die Erdoberfläche abgeleitet. Daher ist es erklärlich, daß die elektrische Spannung täglich zweimal ihren größten Werth erreicht, nämlich nach Sonnenaufgang und nach Sonnenuntergang und auch zweimal den kleinsten, nämlich nachmittags und gegen Ende der Nacht, und daß sie jährlich im Dezember oder Januar am größten, im Mai und Juni am kleinsten ist, weil die feuchte

Luft die Elektrizität aus der Atmosphäre besser an die Erdoberfläche leitet, als die trockene, jene aber bei einem niedrigen, diese bei einem höheren Stande der Sonne stattfindet.

Weil die Elektrizität der Atmosphäre eine Vertheilung an der Erdoberfläche bewirkt, so ist klar, daß bei einem höheren Grade von Spannung an Hervorragungen und den Kanten von Körpern sich elektrisches Licht zeigen muß, wie wenn man die Spitze eines Leiters einem Konduktor gegenüber hält. Daher erscheinen bisweilen die Thurmspitzen, die oberen Enden der Masten und im Freien bei Thieren und Menschen die Haare und Kleider, an den Gewächsen die Blätter in einem ruhigen, ziemlich weißen Lichte, was man das St. Elmsfeuer und bei den Alten Kastor und Pollux genannt hat. Bisweilen hat man die Mähnen und Schweife der Pferde wie von sanft leuchtenden Perlen durchflochten und selbst die Regentropfen leuchtend gesehen.

Ohne auf die große Menge von beobachteten Erscheinungen ähnlicher Art einzugehen, gehen wir zu den weiteren Untersuchungen über die atmosphärische Elektrizität über.

Wenn die auch in der heiteren Atmosphäre vorhandenen Dämpfe zu Dünsten sich verdichten und die Dunstkügelchen sich mehr und mehr einander nähern und Wolken bilden, so muß die positive Elektrizität der Luft auch diesen angehören und sie schweben in der verhältnißmäßig trockenen Luft der Umgebung wie ein isolirter Konduktor, welcher an der Oberfläche die stärkste elektrische Spannung hat. — Eine solche höher gelegene positiv elektrische Wolke muß nun auf eine unter ihr liegende schwächer positive vertheilend wirken und ihre negative Elektrizität nach oben anziehen, die positive nach unten abstoßen; letztere aber kann durch die unter ihr befindliche feuchte Luft nach dem Erdboden abgeleitet werden und somit ist eine Wolke mit negativer Elektrizität vorhanden. Wenn also auch die atmosphärische Luft positiv elektrisch ist, so können Wolken selbst über ganz freien Ebenen entweder positiv oder negativ elektrisch sein. — Daß sie aber auch an Gebirgen negativ sind, ergibt sich aus ihrer unmittelbaren Berührung mit negativen Theilen der Erdoberfläche. Ebenso sind die aus Gewässern aufsteigenden Nebel negativ.

Wenn zwei benachbarte Dunstbläschen entgegengesetzte Elektrizität haben, so entsteht zwischen ihnen ein außerordentlich kleines und für sich nicht wahrnehmbares Ausgleichungsfünkchen, wenn aber außerordentlich viele Paare einander gegenüberstehen, so wird die gleichzeitig oder fast gleichzeitig erfolgende Abgleichung einen sichtbaren Lichtschein geben, welcher in seiner ganzen Ausdehnung dieselbe Lichtstärke zeigt, wenn die zwei Dunstschichten in sich eine gleichmäßige Vertheilung der Dunstbläschen besitzen.

Dieses führt mich auf eine, wie mir scheint, bis jetzt viel zu wenig beachtete Erscheinung, welche uns Aufschlüsse über die Grundursachen zur

Entstehung der Gewitter zu geben geeignet ist, nämlich auf ein elektrisches Horizontlicht, welches sich bald nach dem Untergange und vor dem Aufgange der Sonne zeigt, wenn die Luft längere Zeit vorher sehr heiter gewesen ist. Ich habe in den Jahren 1858 und 1859 von einem hochgelegenen Standpunkte aus mit vieler Ausdauer und Aufmerksamkeit eine große Menge von Beobachtungen darüber angestellt.

Ist die Sonne nach heiteren heißen Tagen unter den Horizont gesunken, so ist unmittelbar darauf bei vollkommener Windstille der Erdboden wärmer, als die Luft darüber, weil in jenem eine größere Wärme erregt worden ist, als in dieser, und dort länger festgehalten wird, als hier. Geht aber die Sonne auf, so erwärmt sie bereits die Luft über dem Erdboden, während dieser die Nacht über sich oft nicht unbedeutend abgekühlt hat. In beiden Fällen sind ungleich warme Luftschichten, ohne daß zwischen ihnen eine scharfe Gränze, aber eine mit Bewegung verbundene Neigung zu gegenseitiger Ausgleichung der Temperaturen vorhanden ist. Es zeigt sich nun bald nach Sonnenuntergang am östlichen und nordöstlichen Horizonte, nicht blos über dem flachen Festlande, sondern selbst über dem Meere, wie ich selbst es über der Ostsee gesehen habe, in einem schmalen Streifen ein weißes in kurzen Pausen von wenigen Sekunden bis zu mehren Minuten phosphoreszirend dahinfliegengendes Licht. Gewöhnlich entsteht nach einiger Zeit bei übrigens sternenhellem Himmel ein zarter Wolkenstreifen, wenn er nicht etwa schon anfangs vorhanden ist, zum Zeichen, daß eine Vermischung zweier ungleich warmen Luftschichten mit der elektrischen Abgleichung stattgefunden hat. — Die Erscheinung ist sehr selten auf einige Stunden sichtbar; im Hochsommer habe ich sie wiederholt vor Sonnenaufgang bemerkt.

Diese Horizontlichter hatten selten eine Länge bis zu 60 Graden und höchstens eine Erhebung bis zu 10 Graden. Der Dunstsaum wurde während der Erleuchtung oft unkenntlich, trat aber nachher wieder hervor. — Die längste Dauer der Erscheinung beobachtete ich in der Nacht vom 11. zum 12. Juni 1859, wo sie gegen 2¼ Uhr durch die Morgendämmerung wohl nicht unterbrochen, sondern nur unkenntlich gemacht wurde, nachdem sie 9½ Uhr abends begonnen hatte. Auffallend war hierbei die noch vor 2 Uhr eintretende doppelte Färbung: der untere Theil war hellblau, der obere hellroth; Farben, wie sie sich an den beiden Enden (Polen) des elektrischen Eies wahrnehmen lassen.

Solche blasse, schnell über weite Strecken dahin fliegende elektrische Streifenlichter habe ich sehr oft auch in höheren Stellen über dem Horizonte beobachtet und gefunden, daß sie von den Stauungen zweier sehr sanften einander entgegenkommenden Windströme mit verschiedener Temperatur entstanden; es bildeten sich nämlich zarte Streifenwolken, auf denen die Windrichtung lothrecht stand, welche verschwanden, wenn der warme Wind, und sich bildeten, wenn der kalte siegte. Bei der einen

Beobachtung zählte ich sieben solcher stehengebliebener Streifen, in denen sich ganz dieselbe Lichterscheinung wiederholt zeigte.

Eines Tages bemerkte ich nach 10 Uhr abends bei völlig mit dichten schwarzen Wolken bedecktem Himmel unterhalb der Wolken in bedeutender Höhe einen wogenden Lichtschein, der viel schneller nach Nordnordost hinflog, als der allerdings auch schnell gehende Wind. Oft bildeten sich mitten in großen lichten Strecken dunkle Partien mit derselben fortschreitenden Bewegung, welche sich mehr und mehr verkleinerten, indem der Lichtnebel von dem Umfange der dunklen Stelle aus, vorzüglich aber von der Windrichtung her, in sie wogte, um dann von neuem abgelöscht zu werden. Während der ganzen langen Zeit bemerkte ich nur einmal im entferntesten Norden ein schwaches Wetterleuchten.

Wenn bei diesen Streifenerscheinungen die herrschenden Windrichtungen nicht senkrecht auf ihnen sind, so sind sie nur von kürzerer Dauer und verdanken ihre Entstehung vorübergehenden örtlichen Strömen, wie sich z. B. am 10. Juli 1848 bei und nach einem Gewitterregen, ohne daß ein Gewitter ausgebrochen wäre, drei kurze Streifen im Norden zeigten, welche bei Ostwind von Ost nach West gingen und nach 5 Minuten verschwanden. Ebenso zeigten sich am 12ten bei Nordwest zwei breite lebhaft wechselnde Lichtstreifen im Nordnordost. Dagegen hielt sich am 24. März 1859 in etwa 45° Höhe ein breiter von Nord nach Süd gehender Streifen bei Ostnordostwind in seinem wechselnden Lichte länger, obwohl er bisweilen ganz verschwand. Ich führe diese Thatsachen nur an, um zu zeigen, daß ich diesen und den ähnlichen Erscheinungen ein lebhaftes Interesse gewidmet habe, weil man sie bisher noch zu wenig beachtet hatte.

In nicht geringes Erstaunen versetzte mich eine andere elektrische Lichterscheinung, welche sich an dem Ziegeldache eines einzelnen meiner Wohnung gegenüberstehenden Hauses an mehren Abenden nach heißen trockenen Tagen entwickelte. Obwohl die Dachfläche ihren Abfall fast genau nach Norden hatte, so mußten die Steine doch eine hohe Temperatur angenommen haben, denn ich fand sie an anderen Stellen des rohen Mauerwerkes um 12 Uhr das einemal 37° R. Nach Sonnenuntergang wehte ein schwacher, ziemlich kalter Nordwest oder Nordnordwest, welcher also das Dach schräge traf und da dampfte das Dach förmlich in einem mattrothen Lichtscheine mit wechselnder Stärke und in kurzen Zwischenzeiten, namentlich an der mir sichtbaren Ostkante, welcher bisweilen über diese hinaus bis zu 6 und 8 Fuß flog und recht hell war. Dieser elektrische Lichtnebel kann wohl kaum aus Wasserdunstbläschen bestanden haben, weil ja die etwa von dem kalten Winde mitgeführten Dünste an dem warmen Dache sich noch mehr auflösen mußten, sondern wird wohl aus elektrisch leuchtenden Lufttheilchen bestanden haben.

An diese Erscheinung schließen sich die elektrisch leuchtenden Gewitterwolken, welche bei vollständig ausgebildeten Gewittern nicht nur in wechselndem matten Lichte sich zeigen, sondern häufig auf längere Dauer eine ins Feuerrothe gehende Färbung annehmen, was sich abends und in der Nacht sehr auffallend zeigt. Am schönsten habe ich dieses elektrische Wolkenlicht westlich von New-York gesehen. In der Nähe von St. Louis soll eine solche Wolke von bedeutender Ausdehnung fast während einer Stunde in diesem feuerrothen Lichte geprangt haben und den 5. August 1860 stand zu Cincinnati eine große Wolke ebenso lange mit einer Beleuchtung, als ob ein großes Feuer wäre. Es ist dieses dasselbe Roth, welches sich bei weniger ausgebildeten Nordlichtern sehr oft zeigt und wie ich es in nicht bedeutender Höhe über der Erdoberfläche bei den in Posen und in Nordamerika beobachteten Nordlichtern wiederholt gesehen habe. Diese Erscheinung bildet den Uebergang von Gewittern zu Polarlichtern und gewissermaßen die Brücke zum Verständnisse der letzteren.

Wenn nun schon die angeführten Erscheinungen es wahrscheinlich machen, daß zwei Luftströme von verschiedener Richtung und Temperatur die Quelle der Elektrizität auch bei Gewittern sind, so wird dieses durch Beobachtungen, welche sich auf diese Erscheinung selbst beziehen, zur Gewißheit. Wenn man an schwülen Tagen an leichtem Gewölk erkennt, daß die Luft in verschiedenen Höhen nach verschiedenen Richtungen strömt, so kann man mit fast absoluter Gewißheit auf den Ausbruch eines Gewitters nach einigen Stunden schließen und wenn es sich auch nicht über dem Beobachtungsorte selbst entladen sollte. — Aber nicht blos horizontale, sondern auch lothrechte und schräge Strömungen erzeugen Elektrizität und deren Entladung. So der aus und an den Essen der Vulkane aufsteigende Strom verschiedener Gase und Dämpfe, der an den Bergabhängen während der Nachmittage im Sommer, besonders an der Südseite aufsteigende Strom warmer Luft, neben welchem ein kalter herabsinken muß; ebenso ist es in der Region der Kalmen, wo die aufgestiegene warme Luft positiv, die herabfallende kalte negativ elektrisch ist.

Daß im Winter Gewitter selten sind, liegt daran, daß es an der Doppelströmung in größerem Maßstabe fehlt und überdies die feuchte Luft an der Erdoberfläche die Elektrizität ableitet; wenn aber die warme Südströmung einmal bis in die Winterregion reicht, so kann wohl ein Gewitter mit Schneefall erscheinen, es erfolgt aber in der Regel eine größere Kälte, weil der Nordstrom in der Regel siegreich hereinbricht über den Südwest.

Während in höheren Schichten der Atmosphäre eine doppelte, wenn auch meist ziemlich langsame Luftströmung stattfindet, ist es an der Erdoberfläche windstill und kein Lüftchen kühlet die Gluth. Es ist natürlich, daß die Menge der aus dem erwärmten Erdboden aufsteigenden

Dünste bedeutend sein muß, daß aber auch die Luft eine große Menge von Wasser in Dampfgestalt aufnehmen kann. Dieser hohe Dunstsättigungsgrad der Luft, welcher unsere eigene Ausdünstung hemmt, die Ruhe der Luft, welche eine Fortführung der etwa entwickelten Ausdünstung nicht bewirkt und letztere also auch noch unterdrückt, in Verbindung mit der elektrischen Spannung, in welcher unser eigener Körper sich befinden muß, macht die Gewitterschwüle so unangenehm.

Die oft sehr schnelle Wolkenbildung meist zu mächtigen Haufenwolken ist nur deshalb möglich, weil die heiße Luft einen sehr hohen Dunstsättigungsgrad erlangt hat; wirklich vermittelt wird sie durch eine theilweise elektrische Ausgleichung der oberen positiven mit der in den aufsteigenden Dünsten enthaltenen negativen Elektrizität; denn wenn die Dünste durch das bloße Aufsteigen zu Nebel und Wolken würden, so müßten diese sich nur sehr langsam und während des größten Theiles des Tages bilden, was nicht der Fall ist. Das in den Wolken bei ihrer Bildung sichtbare Schwanken und Wogen rührt von den theilweisen Entladungen her, weshalb die zu derselben Wolke gehörigen Dunstkügelchen einander näher treten und immer mehr neue sich bilden können, wodurch schnelle Formveränderungen eintreten. Wenn nun auch jedes einzelne Dunstkügelchen einer bestimmten Wolke eine nur geringe elektrische Spannung besitzt, so ist doch die gegen die Außenflächen der ganzen Wolke vorzüglich hervortretende gesammte Spannung oft sehr bedeutend. Ist sie im Ganzen geringe, so können bei der Verdichtung der Wolken warme Gewitterregen entstehen, ohne daß ein wirkliches Gewitter zum Ausbruche kommt; ist sie aber bedeutend, so erhebt sich nach dem oberen abgekühlten Raume die heiße dunstreiche Luft von der Erdoberfläche, trägt zur schnellen Vergrößerung der Wolken bei und bewirkt den Gewittersturm, welcher durch die elektrische Anziehung nach der Wolke hin unterstützt wird.

Nach den obigen Betrachtungen werden die oberen Wolken meist positiv elektrisch sein und werden auf darunter befindliche in der Art vertheilend wirken, daß ihre unteren Flächen auch positiv sind, wodurch die Erdoberfläche zunächst negativ wird. Treten nun Funkenentladungen ein, so können sie entweder blos zwischen den beiden Wolken stattfinden und dann sind die Blitze als sogen. kalte Schläge gefahrlos oder bei einer ziemlich großen Annäherung der unteren Wolke an die Erdoberfläche gleichzeitig auch eine zweite Entladung nach der Erde, welches ein elektrischer Rückschlag oft von außerordentlicher Heftigkeit ist oder endlich nur zwischen der unteren Wolke und der Erdoberfläche, wobei es immer, wie man sagt, einschlägt. — Ich habe einmal grade über meinem Scheitel ein Gewitter beobachtet, was so hoch war, daß ich nur den Blitz sah, den Donner aber nicht hörte. Man nimmt an, daß letzteres bis auf eine Entfernung von zwei Meilen geschehen kann. — In seltenen Fällen kommt es vor, daß die untere elektrische Wolke die Erdober-

fläche berührt und sich an ihr fortwälzt. Dadurch wird die Elektrizität unmittelbar in die Erde geleitet und ein Donner kann nicht entstehen. Ein solcher Fall kam am 2. Juni 1856 in Elberfeld vor, wobei es, weil die Stadt selbst innerhalb der dunklen Gewitterwolke sich befand, so dunkel wurde, daß man selbst in dem freiesten Zimmer kaum lesen konnte.

In allen diesen drei Fällen entsteht ein Blitz. Man unterscheidet drei Arten desselben:

1) der eine fährt im Zickzack oft drei bis vier Meilen weit mit rother, blauer (violetter) oder weißer Farbe einher, bisweilen theilt er sich, namentlich in der Nähe der Erdoberfläche, und bringt dort die heftigsten Zerstörungen und Brände hervor. Dieses Abspringen hat seinen Grund in der bedeutenden Verdichtung der Luft, welche vor ihm wegen der Ausdehnung der zurückliegenden sehr zusammengedrückt worden ist, so daß also in kurzen Augenblicken eine Leitung nach weniger dichten Stellen stattfindet, um dann in einer Seitenbahn den Weg wieder fortzusetzen. Wenn er zur Erde fährt, oder wenn wir einen eigentlichen Blitzschlag haben, so wählt er sich gern hervorragende Gegenstände, wie die Masten der Schiffe, hohe Bäume, Thürme und folgt dabei den besten Leitern; trifft er auf schlechte Leiter, so durchbohrt oder zertrümmert er sie, selbst wenn es dicke Mauern sind; die guten Leiter führen ihn, wenn sie eine hinreichende Oberfläche haben, spurlos weiter, wenn nicht, so werden sie erwärmt, glühend, geschmolzen, zerrissen oder sogar in Staub verwandelt; je schlechter ein Körper leitet, desto mehr wird er erwärmt und fängt Flamme, wenn er brennbar ist. Finden Unterbrechungen in der Leitung statt, so erscheinen neue zündende Feuerstrahlen, der Blitz springt über von schlechteren auf bessere oder auf solche mit größerer Oberfläche und reißt dabei häufig leichtere Körper mit sich fort und setzt sie anderswo ab oder zerstreut sie; schlägt er in ein Kiessandlager, so schmelzt er die Sandkörner zu hohlen Röhren, welche oft eine Länge von 20 bis 30 Fuß, einen Durchmesser von 1 bis 2 Zoll haben und sich bisweilen verzweigen. Dies sind die an sandigen Ufern und Hügeln nicht selten aufgefundenen Blitzröhren.

Der Blitz legt bisweilen einen 3 bis 4 Meilen langen Weg zurück, er besteht aber aus einer großen Menge kleiner Entladungen, was bei der Drehung eines Farbenkreisels ermittelt werden kann.

2) Die zweite Art von Blitzen ergreift ganze Wolken und hat ein viel schwächeres Licht, welches mehr dem an Spitzen erscheinenden Glimmlichte ähnlich ist. Er erscheint zwischen zwei Wolken als Zeichen der gleichzeitigen Abgleichung großer Strecken auf ihnen und ist selbst bei größerer Nähe von einem hörbaren Donner nicht begleitet. Ist die Erscheinung in größerer Entfernung, so nennt man sie Wetterleuchten.

3) Endlich erscheint in seltenen Fällen ein kugelförmiger Feuerballen, welchen man Donnerkeil zu nennen pflegt. Er durchfliegt die

Luft nach der Erdoberfläche hin in der Regel mit solcher Geschwindigkeit, daß es scheint, als ließe er eine feurige Spur hinter sich. Bei der Berührung mit dem Erdboden sollen manche wie elastische Bälle abprallen oder sich in mehre kleine Kugeln zertheilen, und bei ihrem plötzlichen Verschwinden einen einzelnen starken Knall oder eine Art Kanonensalve geben, bisweilen aber auch geräuschlos verschwinden.

In dieser Beziehung hat mir ein amerikanischer Freund, der durch sein vortreffliches Werk über Nordamerika: „Land und Leute in der Union" bekannte Direktor der „Hoboken-Akademy", Adolf Douai, eine bemerkenswerthe Mittheilung gemacht. Er schreibt am 4. August 1862:

„An einem der letzten Tage schlug hier während einer ziemlich stillen, mehr wetterleuchtenden Gewitterentladung der Blitz in das Haus einer meiner Bekannten in Staten Island, ohne zu zünden. Die Familie saß beim Abendbrote, als der betäubende Schlag erfolgte und die Familienglieder eine Feuerkugel sich um einen Zinnkrug auf dem Tische schlängeln sah. Die Hausfrau war getroffen worden. Sie war zwar auffällig ruhig und gefaßt, zeigte auch keine Spur von Verletzung; aber Tags darauf begann sie zu klagen. Ihre Verdauung war gestört und sie war in einer solchen elektrischen Spannung, daß, so oft man sie berührte, elektrische Schläge von beiden Theilen empfunden wurden. Ihre Hoops (Reifrock) verursachten ihr heftige Schmerzen, besonders beim Entfernen. Es konnte sie nur ihr Schwager anrühren, ohne ihr Krämpfe zuzuziehen, und wenn er ihre Hände in den seinigen hielt, schlief sie allmählig ein. Als der Arzt, ein kräftiger, energischer Mann, wenige Schritte vom Bette entfernt und ihr den Rücken zukehrend, eine Arznei in einer Schale einrührte, empfanden er und sie gleichzeitig einen heftigen elektrischen Schlag. Am dritten Tage starb sie im Augenblicke des Aderlassens an einem kurzen Krampfanfalle. — Die Luft war auch mehre Tage nach dem Blitzschlage noch fortwährend elektrisch gespannt und gewitterhaft."

Derselbe Freund berichtete mir von einem höchst merkwürdigen Blitzschlage, welcher am 14. Juli 1864 bei Roßville, Georgien, in dem Lager der Fuller-Brigade etwa 15 Unionssoldaten verwundete oder tödtete und mehre Gespanne betäubte.

„Herr Pollock, der Regimentswagenmeister des 18ten Missouri-Regiments, ein wissenschaftlich gebildeter Mann, der den Gang des Gewitters genau beobachtet hatte, berichtet darüber, daß ungefähr um 6 Uhr abends die schweren Gewitterwolken, welche sich im Westen gesammelt hatten, sich theilten, indem ein Theil nordwärts, der andere südwärts zog, beide Blitze und Regen ausströmend, und endlich sich wieder vereinigten grade über dem 16ten Armeecorps, welches auf den hohen Hügeln am Südufer des Chattahoochie an der Roßviller Brücke lagerte. Im Augenblicke der Vereinigung der beiden Wolken wurden unaufhörlich die lebhaftesten Blitze entwickelt, gefolgt von Donnerschlägen,

fast unserem Kanonendonner gleichkommend, mit betäubender, lähmender, fast entsetzenerregender Wirkung "

„Derjenige Schlag, welcher den meisten Schaden anrichtete, der im 18ten Missouri-Regimente, kam, wie ein Beobachter erzählt, aus einer ganz niedrig stehenden Wolke und fuhr über die Straße als eine grelle wagerechte Feuermasse so dick wie ein Mann am Leibe. Er traf eine hohe Eiche, etwa 90 Fuß hoch und 30 Zoll dick, welche auf einer Anhöhe stand, spaltete sie bis aufs Mark, warf aber keine Splitter umher. Am Fuße des Baumes, wo eine große Anzahl Soldaten bivouakirten, schien die Elektrizität den Baum zu verlassen und nach allen Seiten hin eine große Menge feuriger Strahlen zu versenden, jenen ähnlich, welche ein Klumpen Eisen unter dem Hochofenhammer bei Weißglühhitze versendet, nur daß es keine Funken, sondern anhaltende Ströme waren, was herumflog. Alles dieses war das Werk eines Augenblickes. Fast das ganze Regiment ward betäubt und geblendet; Viele lagen bis zur Gefühllosigkeit betäubt. Ein ganzes Gespann von 6 Maulthieren ward 60 Fuß davon zu Boden geworfen. Zu genau derselben Zeit schien die Wolke an anderen Stellen der Brigade einzuschlagen; sie hat, wie ich seitdem erfahren, Menschen und Thiere verwundet und getödtet."

„Nun zu ihren Grillen! Jene kleine Strahlen, welche der Hauptmasse ausströmten, ähnlich den Wurzeln und Würzelchen eines Baumes, durchbohrten Alles, worauf sie trafen, mit größerer Kraft, als Kugeln, obwohl einige nicht dicker, als eine Stricknadel waren. In ihren Bohrlöchern machten sie keine Einzackungen, wie es Kugeln thun, sondern höhlten ihren Weg aus. Alles, was sie berührten: wollene Decken, Kleider, Haare, Haut, Papier u. s. w. sah aus, als wäre Vitriol darauf gespritzt und überhaupt hatte die ganze Umgebung das Aussehen, als wäre ein großes Gefäß mit Vitriol geborsten und hätte seinen Inhalt in feinen Strahlen verspritzt. Ich untersuchte den Ranzen eines Soldaten und was darin war. Ein Bohrloch wie von einem Schrotkorn war durch 26 Lagen der gefalteten Decke, durch sein Taschenbuch, durch Briefe, Umschläge, Buche Papier, Lichtbilder und die Messingklappe des Taschenbuches gedrungen. Mehre Leute waren verbrannt und ihre Haut sah aus wie mit heißem Wasser vom Kopfe bis zur Ferse verbrüht, das Haar versengt, die Haut in Blasen, in einzelnen Fällen das Fleisch tief hinein verbrannt."

„Acht Kanonen, welche neben dem Baume standen, wurden abgefeuert, ohne Schaden zu leiden. Der Korporal John Taylor und der Gemeine John Hensel, 9. Komp., wurden getödtet, 8 Mann derselben Kompagnie schwer verbrannt. Die dem Baume zunächst waren, empfingen Strahlen, welche über den ganzen Körper liefen; die Entfernteren hatten an ihrer Haut das Aussehen, als hätten sie in einem Regen geschmolzenen Eisens beim Hochofen gestanden. Drei Mann von der zweiten Verein. Staaten-Batterie wurden getödtet. Ein Gespann von

vier weißen Maulthieren mit dem Fuhrmann und Negerknecht wurden auf der gegenüberliegenden Seite des Flusses getödtet.

„Nach Untersuchung der Oertlichkeit bin ich überzeugt, daß die bedeutende Menge von Wasser und Stahlkanonen die beiden Wolken grade über dieser Stelle zusammengezogen hat, da sie nicht eben höher war, als manche umliegenden Hügel. Der ganze Lauf des Gewitters auf Meilen hin war niedrig; aber es entlud sich erst, als es über dem dicht beisammen lagernden 16ten Corps angelangt war.

Wm. Heimstreet, Kapitain."

Auf die Blitze der ersten Art folgt der Donner, wenn das Gewitter nicht allzuweit, nicht viel über 2 Meilen, entfernt ist. Bei der Entstehung des Blitzes oder in dem Augenblicke der Verbindung der beiden entgegengesetzten Elektrizitäten wird die Luft an der betreffenden Stelle sehr stark ausgedehnt; die umgebende Luft stürzt aber von allen Seiten nach diesem luftverdünnten Raume und es schlägt sich somit Luft an Luft. Dieses gibt allerdings nur einen einzelnen harten Schlag, aber daß wir eine ganze Reihenfolge von zusammenhängenden Schlägen, welche in ihrer Stärke wechseln oder ein Rollen des Donners wahrnehmen, rührt theils davon her, daß wir von den entfernteren Stellen des entstandenen Blitzes den Schall später und schwächer hören, als von den näheren, theils davon, daß die Wolken je nach ihrer Dichtigkeit, Mächtigkeit und Lage gegeneinander den Schall in verschiedener Stärke und Zeit als Echo zurückwerfen. — Bildet sich der Blitz zwischen zwei Wolken, gleichgiltig, ob er von oben nach unten oder umgekehrt fährt, so fängt der Donner stark an, weil man den Schall von dem als dem uns nächsten Punkte seines Weges zuerst hört und wird dann schwächer, weil der später ankommende Schall von entfernteren Orten kommt; geht aber der Blitz aus einer niedrigen Wolke nach der Erdoberfläche, so vernimmt man meist nur ein starkes Krachen. — In Gebirgen tragen die Felsen, Berge und Höhenzüge zur Ausbildung des Donners bei.

Der die Gewitter meist begleitende Regen entsteht theils durch den auf die Wolken bei jeder Entladung ausgeübten Druck der sie umgebenden und durchdringenden Luft, wodurch eine Uebersättigung mit Dünsten eintritt, theils durch die mit der folgenden Ausdehnung verbundene Abkühlung und Herabsetzung des Dunstsättigungsgrades. Wer Gewitter aufmerksam beobachtet hat, wird gefunden haben, daß der Regen ähnliche Pausen macht, wie die Entladung der Gewitterwolken, so daß auf einen Schlag der Regen mit erneuerter Stärke fällt. Die Abkühlung geht soweit, daß der Regen bisweilen mit Hagelkörnern vermischt ist, oder daß ein Hagelwetter eintritt. — Da die Wolken bei heiterem Himmel nur positiv elektrisch sind, bei bedecktem aber positiv oder negativ; so zeigt auch der Regen, sowie der Schnee, bald die eine, bald die andere Elektrizität.

Der Hagel ist eine der räthselhaftesten Naturerscheinungen, mit deren Erklärung die Physiker sich vielfach beschäftigt haben, ohne daß es hat gelingen wollen, eine allen Anforderungen entsprechende Theorie zu geben. Obwohl ich in der glücklichen Lage gewesen bin, einige entscheidende Beobachtungen zu machen, so will ich doch nicht behaupten, daß mit dem, was ich anführen will, schon Alles abgethan sei.

Hagelfälle finden in den kalten Zonen nicht statt, in der heißen nur an hohen Bergen, in den gemäßigten nur im Sommer, fast nur am Tage, vorzüglich nachmittags und nur, wenn es sehr heiß und die Luft mit Dünsten sehr erfüllt gewesen ist.

Wie vor einem Gewitter sieht man oft viele Stunden vorher in der Atmosphäre eine doppelte Luftströmung, während an der Erdoberfläche eine schwüle Windstille herrscht. Es bilden sich dann meistens ziemlich schnell niedrig schwebende, dichte, dunkelgraue, etwas ins Röthliche gehende Wolken, welche mehr schichten-, als haufenförmig gestaltet sind.

Nach kurzer Zeit hört man aus der Wolke, wenn sie niedrig genug schwebt, ein verworrenes Sausen und Rauschen, wie etwa von einem entfernten Wasserfalle, nur mit etwas härteren Schlägen. Dieses Rauschen habe ich in einem engen Gebirgsthale zwischen Reichenberg und Friedland in der Nähe des Hochwaldes bei Ditterbach aus einer in etwa 500 Fuß Höhe über mir schwebenden, dichten und horizontal begränzten Wolke bei vollkommenster Windstille über 10 Minuten lang wahrgenommen, ohne auch nur eine Spur von Blitz zu entdecken. Dann trieb ein mäßiger Wind die Wolke, ohne daß das Rauschen aufhörte, und ohne daß ein Regentropfen oder Hagelkorn gefallen wäre, bis an den nächsten Höhenzug an dem Wege nach Reichenberg und dort erst setzte die Wolke ihren Hagelvorrath ab, wie ich am nächsten Morgen erfuhr.

Hört das Rauschen auf, welches man bei sehr hoch stehenden Wolken freilich nicht mehr wahrnehmen kann, so treibt ein meistens mäßiger Wind die Hagelwolke fort und der Hagel fällt in kleinen oder bis zu vier Zoll im Durchmesser großen Eiskörnern nur während weniger Minuten, aber in oft so bedeutender Menge, daß er den Erdboden bisweilen auf mehre Zolle bedeckt und noch lange nachher eine Temperatur von — 4° R. zeigt. Dabei ist der mit Hagel bedeckte Flächenraum meist ein ziemlich beschränkter von länglicher Gestalt in der Richtung, in welcher die Wolke zog und seine Gränzen sind oft ganz scharf abgeschnitten. Bei einem Hagelfalle, den ich während des Aufenthaltes auf einem Landgute beobachtete, hagelte es auf dem Gehöfte, während in dem dahinter befindlichen Garten nicht ein Korn fiel

In den allermeisten Fällen zeigen sich in den Hagelwolken Blitze mit folgendem Donner, auf welche dann der Hagelfall beginnt; sie gehen aber in diesem Falle nur von Wolke zu Wolke.

Die Hagelkörner sind in der Mitte in der Regel undurchsichtig und bestehen meist aus theils durchsichtigen, theils durchscheinenden, einander umschließenden Eisschalen, was man bei ihrem Zerschneiden erkennt.

Bei der Erklärung dieser höchst auffallenden Naturerscheinung fand man bisher die größte Schwierigkeit immer in der Aufsuchung der Ursachen für die grade bei der größten Sommerhitze von mehr als 37° R. in der Sonne so bedeutende Abkühlung unter Null, ohne welche die Hagelkörner nicht entstehen können. Man verfocht lange und eifrig die Ansicht, daß die Sonne an der oberen Fläche der Hagelwolke eine starke Auflösung der Dünste in Dämpfe bewirke, wodurch den unteren Theilen so viele Wärme entzogen würde, daß sich statt der Wassertropfen sogar Eistropfen bilden sollten. — Wir wissen freilich, daß z. B. lauer Wein, welcher in Flaschen in feuchten Erdboden eingegraben ist, abgekühlt wird, wenn man ein Geschwindfeuer auf dem Boden angelegt hat, weil wegen Erhöhung der Temperatur die Feuchtigkeit rascher verdunstet, wozu Wärme notbwendig ist, die dem Erdboden darunter entzogen wird, uud es steht überhaupt fest, daß Wärme verbraucht wird, wenn Dämpfe gebildet werden. — Aber geben wir auch die Abkühlung der Luft zu, in welcher die Dünste der oberen Gränze der Wolke schweben, so ist doch auch klar, daß die kalt gewordene Luft herabsinken, die unterhalb befindliche warme aufsteigen und dadurch oberhalb die Temperatur fast auf derselben Höhe um so längere Zeit bleiben muß, je größer die Hitze unterhalb ist. Es ist also eine so bedeutende Abkühlung der Wolke, wie sie zur Bildung von Hagelkörnern erforderlich wäre, rein undenkbar. Aber, gesetzt auch, es entstände auf diese Weise doch nur allmählich und nicht so plötzlich eine Abkühlung unter Null; so kann die Frage nicht beantwortet werden: warum bildet sich dann nicht Schnee, sondern Hagel. Gesetzt aber auch ferner, es entstände oben an der kältesten Stelle statt eines kleinen Regentropfens ein kleines Hagelkorn; so kann sich dieses für sich nicht schwebend erhalten und dabei allmählig vergrößern, sondern es muß fallen; beim Fallen trifft es auf wärmere Dünste und Luft, es kann sich also nicht nur nicht vergrößern, sondern muß kleiner und am Ende gar ein Regentropfen werden. Noch weit weniger können sich große Hagelkörner in der obersten Gränze plötzlich bilden. — Abgesehen von diesen Einwürfen lassen die Hagel, welche bisweilen bei tiefem Stande der Sonne, oder selbst nach Sonnenuntergang entstehen, noch weniger nach der obigen Annahme sich erklären.

Wenn wir die Bedingungen für die Entstehung des Hagels und den ganzen Verlauf der Erscheinung genau verfolgen, so wird sich wohl ein ziemlich sicheres Resultat ergeben.

In den kalten Zonen, so wie in der heißen an der Erdoberfläche fehlt es an Luftströmen von bedeutend verschiedener Temperatur; in der letzteren können sie nur an den Abhängen hoher Berge vorkommen. Aber auch in den gemäßigten Zonen sind die Nächte und der Winter meistens

frei davon und wenn sie vorkommen, so vermengen sie sich, ohne auf weite Strecken eine horizontale Richtung zu behalten. Wie vor Gewittern, so ist vor dem Ausbruche der Hagelwetter, welche nur eine besondere Form der Gewitter sind, zwar auch stets ein doppelter Luftstrom zu erkennen, aber die sich in ihnen bildenden Wolken müssen mehr Schicht-, als Haufenwolken und ihr Temperaturunterschied, so wie der Dunstsättigungsgrad muß ein großer sein.

Die Bedingungen dazu sind am meisten in den Nachmittagen des Hochsommers gegeben. Bei dem hohen Stande der Sonne wird an der Erdoberfläche nicht nur eine bedeutende Wärme entwickelt, sondern auch das Wasser in Dünste in höherem Grade aufgelöst. Es steigt also eine sehr warme und mit Dünsten sehr erfüllte Luft in die Höhe, um dort unterhalb des horizontal wehenden kälteren Luftstromes sich mit dem schon vorhandenen tieferen und warmen Strome zu verbinden, ohne den kalten Strom durchbrechen zu können.

Diese Ströme sind eine um so reichere Quelle der Elektrizität, je größer der Unterschied der Temperatur und des Dunstsättigungsgrades ist.

Daß sich durch das fortwährende Aufströmen von Dünsten Wolken bilden müssen mit entgegengesetzten Elektrizitäten, ist ganz natürlich. Weil aber die Wolken wesentlich schichtenförmig sind, so kann eine Abgleichung in größerem Maße mit der Erscheinung von Blitz und Donner häufig gar nicht eintreten oder sie tritt nur an manchen Stellen ein, an anderen ist eine ganz allmählige Entladung, für welche die Dunstbläschen an den einander zugekehrten Flächen der beiden Wolken die Zwischenträger sind.

Durch die große Menge dieser, wenn auch nur schwachen Entladungen wird die Luft zwischen den beiden Wolken ausgedehnt und dadurch kälter, und namentlich gegen die obere an sich schon kältere Wolke, weil dort die Luft dünner ist und einen geringeren Widerstand leistet, als die darunter befindliche; außerdem wird durch den Druck auf die entfernteren Wolkenpartien darin eine Verdichtung der darin vorhandenen Dünste und zur Herstellung des Gleichgewichtes ein Zuströmen nach entfernteren hervorgebracht, so daß die Wolken bald ein dunkles Aussehen und wegen ihres elektrischen Zustandes eine ins Gelbrothe gehende Färbung bekommen.

In der oberen kalten, wahrscheinlich negativ elektrischen Schicht bilden sich endlich Schneekrystalle, welche sich bald nach der unteren warmen und positiv elektrischen sehr dunstreichen Wolke bewegen müssen, nicht nur wegen ihrer Schwere, sondern auch weil sie wegen ihrer positiven Elektrizität von der oberen Schicht abgestoßen und von der unteren negativen angezogen werden. Auf ihrem Wege nach den wärmeren Stellen fallen die Schneeflocken zusammen und bilden eine Art Graupelkorn von geringerer Durchsichtigkeit; kommen sie an die

untere Schicht, so verdichten sie an ihrer kalten Oberfläche die reichlich vorhandenen Wasserdünste, verlieren dabei ihre positive Elektrizität und werden negativ. In diesem Zustande werden sie von der unteren auch negativen Wolke abgestoßen und gleichzeitig von der oberen angezogen. Hier und schon auf einem Theile ihres Weges gefriert das Wasser an ihrer Oberfläche, sie verlieren die negative und bekommen positive Elektrizität und so geht dieses Wechselspiel um so leichter und länger weiter fort, je weniger dicht die Luft zwischen den Wolken und je stärker diese elektrisch sind.

Durch diesen Vorgang wird der elektrische Gegensatz der beiden Wolken nach und nach abgeschwächt und die Eiskügelchen werden durch die allmählige Vergrößerung endlich so schwer, daß die untere Wolke sie nicht mehr abstoßen kann, sondern sie durch sich fallen läßt.

Weil die Dünste der Luftschicht zwischen den beiden Wolken von den Hagelkörnern nach und nach aufgenommen werden, so wird sie ziemlich ausgetrocknet und ist im Stande, die beiden Elektrizitäten eine längere Zeit von einander getrennt zu erhalten. Dazu kommt noch, daß die elektrische Spannung der unteren Wolke durch die ihr fortwährend von der Erdoberfläche aus als einer unerschöpflichen Quelle von Elektrizität zuströmenden Dünste sehr lange rege erhalten werden kann.

Es ist ferner natürlich, daß von den Hagelkörnern manche herabgehen, während andere hinauf sich bewegen. Wenn sie dabei einander zu nahe kommen, so stoßen sie aneinander, um ihre entgegengesetzten Elektrizitäten abzugleichen; es ist aber nicht nothwendig, daß jedes dann seinen Rückweg antritt, denn einerseits wird selten die elektrische Spannung beider ganz gleich und somit stets ein gewisser Ueberschuß vorhanden sein, welcher wenigstens das eine veranlaßt, seinen Weg fortzusetzen, und andererseits macht auch die anziehende Wolke ihren Einfluß mehr geltend, als die abstoßende. Theils durch dieses Zusammenstoßen, theils durch die bei den elektrischen Ausgleichungen nicht ganz ausbleibenden kleinen Schläge entsteht das dem Hagelfalle vorangehende Geräusch.

Daß es Hagelfälle ohne irgend einen Blitz mit Donner geben kann, ist eine absolut feststehende Thatsache, aber in den allermeisten Fällen sind die Wolken zu wenig schichtenförmig, als daß eine Entladung in größerem Maße nicht von einzelnen Hervorragungen ausgehen sollte. In diesen Fällen tritt in der unteren Wolke eine schnellere Verdichtung ein und wir haben neben Hagelkörnern noch Regentropfen von oft bedeutender Größe.

Daß die Hagelwolken einige Zeit nach dem Beginne des Bildungsprozesses von einem Winde fortgetrieben werden können, rührt von der die Abkühlung der Luft begleitenden Verdichtung derselben her, ist aber nicht nothwendig, weil ja die umgebende Luft von allen Seiten in den Raum eindringen kann. Da die Hagelwolken selbst eine meist ziemlich

scharfe Begränzung haben, so hat sie jedenfalls auch der Ort, auf welchen der Hagel gefallen ist.

Blitzableiter. Alle Mittel, die Gewitter- und Hagelwolken selbst anzugreifen und die Ausbildung dieser in ihren Wirkungen oft so furchtbar zerstörenden atmosphärischen Erscheinung zu verhindern, sind absolut vergeblich und manche, welche man früher anwendete, z. B. das Läuten von Kirchthurmglocken, sogar gefährlich. Ganze Kanonensalven, gegen eine Gewitterwolke gerichtet, vermögen nicht im geringsten, sie zu theilen oder unschädlich zu machen. Die Schallschwingungen verlieren nicht nur wegen ihrer Entfernung, sondern auch wegen der abnehmenden Dichtigkeit der Luft nach oben sehr bald bedeutend an Kraft und wenn sie auch eine Gewitterwolke erreichten, so würde diese nichts weiter thun, als sie fortpflanzen. Das einzig Vernünftige ist, auf Mittel zu denken, welche uns gegen die Nachtheile des unabwendbar zur Erdoberfläche gelangenden Blitzschlages sicher zu stellen. Auch hierin hat der herrliche Franklin das Richtige angegeben, indem er die Blitzableiter erfand, durch welche der Schlag vollkommen unschädlich gemacht wird. Bei seiner Aufnahme in die französische Akademie der Wissenschaften setzte ihm D'Alembert durch die fünf Worte:

Eripuit coelo fulmen, sceptrumque tyrannis,

(Er entriß dem Himmel den Blitz, das Scepter dem Tyrannen)

ein schöneres und bleibenderes Denkmal, als wenn es von Stein oder Erz wäre. Wir wollen nun das Wesentlichste darüber angeben, weil eine falsche Anlage oder unangemessene Konstruktion nicht nur nicht schützt, sondern sogar erst recht gefährlich wird. Die ganze Ableitung muß von den höchsten Stellen eines Gebäudes bis in den Erdboden aus einer ununterbrochenen Metallmasse bestehen. Man unterscheidet darin drei Theile: die Auffangstange, die Hauptleitung und die Bodenleitung.

Die Auffangstange (Fig. 383) ist höchstens 10 Meter lang und unten 5 Zentimeter im Durchmesser, wird durch die Dachfirste in das Holzwerk eingelassen und ist aus drei Stücken zusammengesetzt:

1) einer Spitze p, welche aus Platin, vergoldetem Eisen oder Kupfer oder aus Silber besteht. Ersteres ist allerdings das beste, aber theuerste; letzteres wegen seiner guten Leitungsfähigkeit und des hohen Schmelzpunktes aber auch sehr geeignet. Ein edles Metall muß genommen werden, damit die Oberfläche wegen der nöthigen Ableitung stets metallisch bleibe. Ihre Länge braucht etwa nur 0,05 Meter zu betragen.

2) Das zweite ist ein Kupferstück k, etwa 0,6 Meter lang, an welches die Spitze mit Silber gelöthet ist, und dieses ist

3) in das Eisenstück a, von welchem hier nur der oberste Theil sichtbar ist, so eingeschraubt, daß eine Fuge nicht zurückbleibt. Dieses Eisenstück trägt unmittelbar über dem Dache eine mit ihr zusammenge-

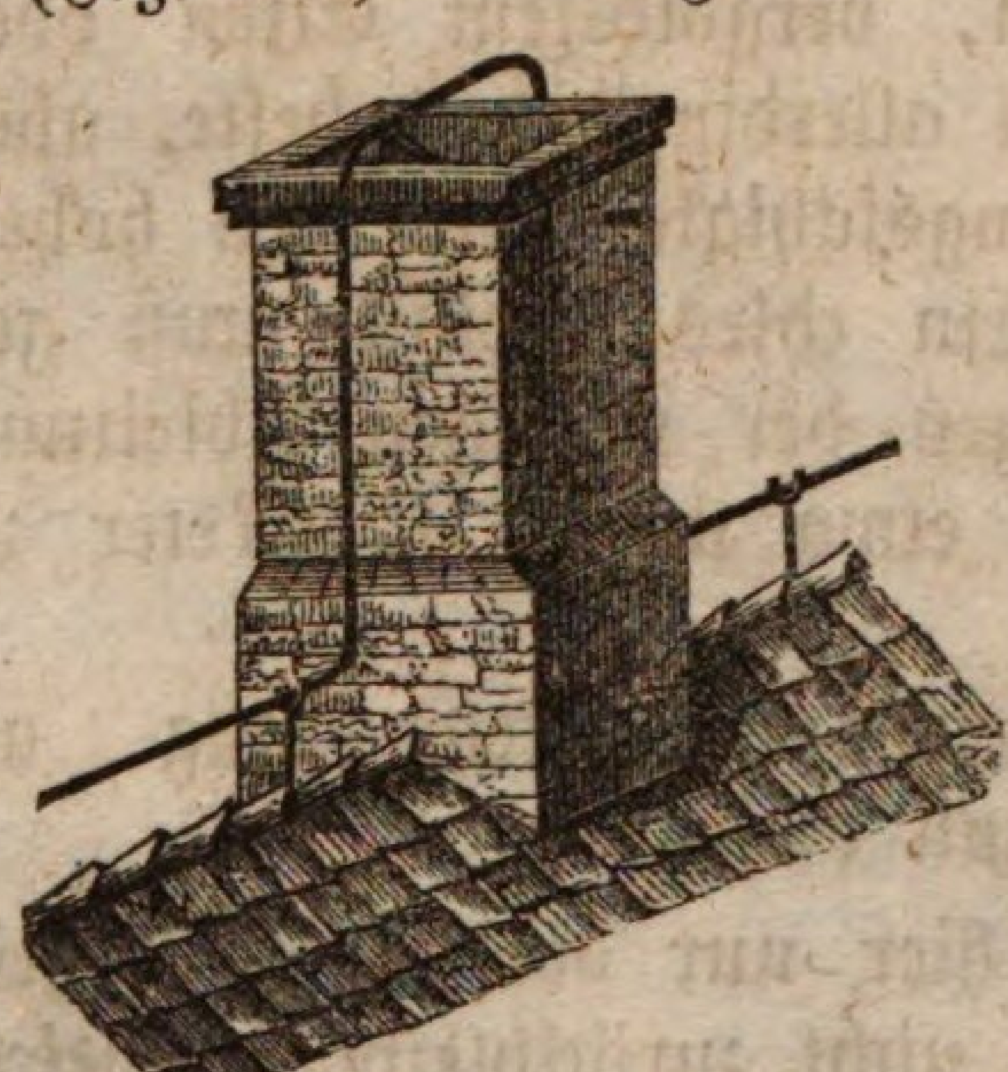


(Fig. 383).

schweißte Scheibe, um den an der Stange herablaufenden Regen von dem Eindringen ins Gebäude abzuhalten.

Die **Hauptleitung** besteht in einer Eisenschiene ohne scharfe Kanten oder besser noch in einem zylindrischen Eisen, welches oberhalb der Scheibe an der Auffangstange beginnt und mit dieser durch einen Ring verbunden ist; dann längs des Dachfirstes in einiger Entfernung davon hinlauft, indem es durch Metallpflöcke mit Isolirhaltern gestützt wird, sich an dem Dache herabzieht, in einem Bogen ohne scharfe Krümmung um den Sims geht und an der Außenseite der Mauer bis an den Erdboden geführt wird. Wo Schornsteine hervorragen, geht die Leitung über dieselben ununterbrochen weg, wie es in Fig. 384 angedeutet ist. — Sind in dem Gebäude in der Nähe der Leitung einzelne Metallmassen, so müssen sie mit ihr, am besten nach ihrem oberen und von ihrem unteren Theile verbunden werden, um ein gefährliches Ab- und Ueberspringen des Blitzes zu vermeiden.

Die **Bodenleitung** muß nach möglichst feuchten Stellen, am besten nach einem Brunnen, Teiche, Flusse u. dergl. vom Hause in einiger Entfernung geführt werden und mindestens 3 bis 4 Meter lang sein. In eine gemauerte, wenn auch Wasser enthaltende Zisterne darf die Leitung nicht münden. Um das untere Ende der Leitung unter allen Umständen mit feuchtem Erdboden zu umgeben, muß man bei trockenem Boden in der Nachbarschaft ein Bohrloch bis zu nie fehlendem Wasser in geeigneter Lage machen, in dieses eine eiserne Röhre mit Seitenöffnungen setzen und in sie das Ende der Leitung führen. Damit das Eisen im Erdboden nicht roste und die Leitungsfähigkeit verliere, wird es mit einer Lage von Kohlenpulver umgeben.


(Fig. 384.)

Kupfer gibt wohl eine bessere Ableitung als Eisen, ist aber zu kostspielig, weniger sind Zink-, Blei- und Messingdraht zu empfehlen. Die Dicke ist von der Länge und dem Materiale der Leitung abhängig. Für Gebäude von 50 bis 60 Fuß Höhe muß sie für Eisen mindestens 5 bis 6, für Kupfer 2 bis 3, für Messing 4 bis 7 pariser Linien betragen; bei 80 Fuß Länge wird sie für Eisen 6¾, bei 100 Fuß Länge 7½, bei 120 Fuß Länge 8¼ par. Linien Durchmesser haben müssen.

In Betreff des durch einen Blitzableiter geschützten Umkreises läßt sich als Regel aufstellen, daß die schützende Wirkung sich horizontal nach allen Richtungen doppelt so weit erstreckt, als die Länge der Stange beträgt, und daher darf auf einem Dache u. dergl. kein Punkt vorhanden sein, dessen horizontaler Abstand von der nächsten Blitzableiterstange größer, als die doppelte Länge dieser Stange ist.

Je geringer die Höhe der Gebäude ist, desto größer muß die Anzahl der Ableiter sein. Wenn der Blitz im Allgemeinen auch nur in die höchsten Punkte trifft, so können größere Metallmassen im Inneren der Gebäude doch es rathsam erscheinen lassen, auch tiefere Stellen zu schützen.

Feststehende Erfahrungen beweisen, daß durch Blitzableiter die Elektrizität der Gewitterwolken abgeschwächt wird. Wenn man während eines Gewitters die Hauptleitung eines Blitzableiters in der Nähe des Erdbodens eine kurze Strecke unterbricht, so erscheinen daselbst oft fast ununterbrochen starke Funken und die elektrische Wolke, welche bei der Annäherung eine große Spannung verrieth, ist nach ihrem Vorübergange viel weniger elektrisch. Die Wolke erregt den Blitzableiter entgegengesetzt elektrisch und da er ihr eine Spitze, an welcher die Stärke dieser Elektrizität kräftig auftritt, entgegenhält, so wird dadurch ein großer Theil ihrer Elektrizität aufgehoben. — Ist die elektrische Spannung zwischen Wolke und Erdoberfläche noch so groß, daß ein Blitzschlag erfolgt, so ist er ungefährlich, wenn die oben angegebenen Maßregeln genau befolgt werden. Es ist rathsam, nach einem durch den Leiter gegangenen Schlage zu untersuchen, ob die leitende Verbindung doch nicht irgendwo gelitten hat und ob die Spitze noch unversehrt ist. Daß die Blitzableiter auch die Elektrizität der Hagelwolken ableiten, ist selbstverständlich. Könnte man außerordentlich viele und hohe aufstellen, so würde die Hagelbildung selbst verhindert werden. Stangen mit Strohwischen dagegen aufzustellen, ist widersinnig.

Was im Uebrigen die Vorsichtsmaßregeln betrifft, sich selbst gegen einen Blitzschlag zu schützen, so hat man die wunderlichsten Mittel angewendet, die wir aber übergehen, um nur die angemessenen anzuführen. Da die Bestandtheile der aus Essen aufsteigenden Rauchsäulen gute Leiter sind, so gieße man das Feuer bei einem herannahenden Gewitter aus, namentlich, wenn man in einem einzeln stehenden Hause wohnt; es ist besser, die Fenster zu schließen, als sie offen zu lassen, nicht weil die Zugluft gefährlich wäre, sondern weil das Glas als ein schlechter Leiter einigermaßen schützt; überhaupt muß man die Nähe guter Leiter meiden, weil von ihnen, die er sich aufsucht, der Blitz leicht überspringen könnte; übrigens ist es gewiß nicht thöricht, sich mit Seidenstoffen zu bekleiden oder zu umgeben. Ist man im Freien, so schützen Grotten oder Höhlen nicht, da ja der Blitz bis zu 10 Meter tief in die Erde schlägt; hohe Bäume sind durchaus zu meiden und höchstens

ist Schutz vor dem Regen unter niedrigem Gesträuch zu suchen, wenn höhere Bäume nicht ganz nahe sind; schnell zu fahren oder zu laufen, ist zu widerrathen, weil sich die Thiere und Menschen dadurch erhitzen und stärker ausdünsten, was die Leitung nach dem Körper begünstigt.

Gewitter finden am häufigsten da statt, wo die Bedingungen eines schnellen Temperaturwechsels und eines doppelten Luftstromes vorhanden sind, wie in den afrikanischen Hochlanden, an der Küste Norwegens und überhaupt an steileren Küsten und Gebirgen, in den gemäßigten Zonen da, wo die kalte Strömung in die warme niederstürzt, ebenso in der Region der Kalmen; nicht aber auf der offenen See oder über weit ausgedehnten trockenen Binnenländern oder in der Region der Polarlichter. Eine außerordentliche Heftigkeit besitzen sie in Mexiko und in den nordamerikanischen Freistaaten ist die Atmosphäre oft tagelang in einer großen elektrischen Spannung.

Nach dem Gewitter ist die Windrichtung meist und zwar dann eine andere, wenn der eine Strom den anderen verdrängt hat. — Das vor dem Gewitter meist fallende Barometer weiset auf einen oben eindringenden warmen Luftstrom hin.

Wettersäulen oder Tromben. An die Gewitter schließen wir eine der gewaltigsten und merkwürdigsten Naturerscheinungen, welche sich sowohl nur über dem Festlande oder nur über dem Wasser, als auch über beiden mit fortschreitender Bewegung zeigt und nach diesen Ortsverhältnissen eine Landhose (Windhose), Wasserhose und Landwasserhose genannt wird. Da aber ihre physikalische Natur dieselbe ist, so wollen wir ihnen den gemeinschaftlichen Namen Wettersäulen oder Tromben (wegen der trompetenförmigen Gestalt) beilegen.

Bei aller Mannigfaltigkeit in ihrem Auftreten besitzen sie doch gewisse gemeinschaftliche Merkmale: Während vollkommener Windstille und hoher Temperatur senkt sich aus einer einzelnen Gewitterwolke von grauweißer, gelblicher oder feurigrother Färbung, niemals bei weit ausgedehnten Gewittern, ein kegelförmiger Schlauch aus Dünsten, meist lothrecht, bisweilen etwas gekrümmt, mit der Spitze nach unten herab und den Erdboden bisweilen nicht erreichend. Geschieht dieses über dem Wasser eines Flusses oder des Meeres, so geräth das Wasser in heftig wallende Bewegung und es erhebt sich nicht selten ein mit der Spitze nach oben gerichteter Kegel jenem ersten gegenüber, welche dann ein Ganzes bilden; aber jener erste Kegel bohrt sich bisweilen auch in das Wasser, wie es den 24. August 1824 auf dem Rheine geschah, wo die Trombe 24 Fuß tief bis auf den bloßgelegten Grund drang und die Wellen daneben 40 bis 50 Fuß hoch aufthürmte; und wenn auch dieses nicht geschieht, so sieht man das Wasser bis zu 50 Fuß hoch aufspritzen. Innerhalb dieses Luft-, Dunst- oder Wasserschlauches ist eine äußerst schnelle spiralförmige und aufwärts gerichtete Bewegung um die Axe; sehr selten bleibt die Trombe stehen, sondern sie hat eine mit sehr ver-

schiedener Geschwindigkeit fortschreitende Bewegung, namentlich auf dem Lande, wo sie auch je nach der Oberflächenbeschaffenheit sich bisweilen hebt und senkt. Manche Tromben schreiten so langsam fort, daß man ihnen nachlaufen kann, andere legen in 7 bis 8 Minuten eine deutsche Meile zurück; ihre Höhe beträgt im Mittel 600 Fuß und schwankt zwischen 30 und 1500 Fuß; ihre Breite meist nicht über 200 Fuß, bisweilen bis 60 Ruthen, und ist oft sehr gering. Rings um sie ist vollkommene Windstille, so daß ihr Weg nur die Breite des merkwürdig scharf begränzten Durchmessers hat; in ihr aber findet nicht nur die heftigste Bewegung statt, sondern man hört sehr häufig ein bedeutendes Geprassel, sieht Blitze in ihr zucken und nimmt einen schwefelartigen Geruch wahr.

Ihre Wirkungen sind ebenso merkwürdig als zerstörend. Geht sie durch einen Wald, so macht sie sich eine förmliche scharf begränzte Allee, selbst ohne den benachbarten Bäumen die Blätter abzustreifen. Bäume werden dabei häufig abgeschält, bisweilen sammt den Wurzeln aus dem Erdboden gehoben, wenn sie auch einen Durchmesser bis zu 2 Fuß haben, bisweilen aber an den Wurzeln wie abgeschnitten. Die eine über einem Teiche entstandene tödtete darin die sämmtlichen Fische. Auf ihrer fortschreitenden Bahn zerstören sie Alles und reißen es mit sich fort: ganz feste massive Häuser werden zertrümmert oder theilweise verrückt, die Dächer abgehoben und oft weit fortgeführt, Fußböden werden aufgehoben, Thüren und Thorwege ausgehoben, die Umfassungswände häufig nach außen gedrückt und, wenn sie Ritzen bekommen, die beweglichen Gegenstände, wie Wäsche, fest hineingeklemmt; alle möglichen Geräthschaften, wie Wasserkannen, Stühle, Betten, Kleider, auch Federvieh, Schafe, Menschen werden in die Höhe gehoben, fortgeführt und die lebenden Geschöpfe ohne weitere Verletzung getödtet. Am 25. Oktober 1820 führte eine Trombe 100 Schock nasse Leinwand mit sich fort über das Haus der Bleiche und wickelte 27 Schock davon, die ein Gewicht von mehr als 600 Pfunden hatten, um eine als Steg dienende Bohle so, daß es viele Mühe machte, sie wieder abzuwickeln. — Erscheint das Meteor über Wasser, so hebt es nicht unbedeutende Schiffe in die Höhe, dreht sie auch wohl um oder treibt den Schaum bis an die Spitzen der Masten.

Die wirbelnde Bewegung geht allerdings wohl meist aufwärts, aber auch bisweilen abwärts, wie die Einbohrung der Trombe in den Rhein und noch ein anderer Fall recht auffallend beweisen, indem eine Landtrombe einen Pflug, mit dem soeben geackert wurde, so tief in den Boden drückte, daß er herausgegraben werden mußte, weil drei Pferde ihn herauszuziehen nicht vermochten.

Was nun die Erklärung dieser merkwürdigen Naturerscheinung anlangt, so ist der Gedanke, sie auf bloße Luftbewegung, etwa erzeugt durch den Stoß einander unter einem schiefen Winkel entgegenkommender

Ströme zurückzuführen, durchaus aufzugeben, weil sie ja bei Windstille entsteht und auch unter Windstille in ihrer Umgebung verlauft. Die Bedingung zu ihrer Bildung liegt in der Elektrizität und in deren Wesen. Sie entstehen daher nicht in Gegenden, wo nur die Passate wehen oder in der kalten Zone, auch nicht in den gemäßigten Zonen bei durchgreifend herrschender Windrichtung, sondern wo die Winde unbeständig sind und die Temperaturen sehr wechseln, wo also überhaupt die Bedingungen zur Elektrizität gegeben sind. Ueberdies aber treten ja in der Erscheinung selbst elektrische Thatsachen auf, Hagelfall nicht ausgenommen, obwohl selten und in geringem Maße. Elektrische Wolke und Erdoberfläche sind in einer entgegengesetzten elektrischen Spannung und die Wolkenform bringt hier einigermaßen die Erscheinung der Spitzen hervor. Ist unter der Wolke grade Wasser, so reicht dieses der Wolke den Arm zur Abgleichung, welche sich auch durch Blitze bekundet.

Die größte Schwierigkeit macht die spiralförmige Drehung. Diese aber liegt in dem Wesen der Elektrizität, worüber wir bereits oben Einiges angeführt haben.

Wennschon bei dem zähflüssigen Siegellack Spiralen sich ausbildeten und durch den Einfluß entgegengesetzter Elektrizitäten sich Wasserspiralen bilden, wie wir bei der galvanischen Elektrizität sehen werden, um wieviel leichter muß dieses mit den Dünsten und der Luft geschehen. Die luftigen Körper müssen wegen ihrer großen Beweglichkeit eine bleibende Spiralbewegung von einer bis zu einer enormen Größe wachsenden Geschwindigkeit annehmen, weil sie durch eine Elektrizitätsquelle von bedeutender Kraft dauernd angeregt werden. Es ist leicht einzusehen, wie auch eine unbedeutende Kraft namhafte Wirkungen an bedeutenden Massen erzielen läßt, wenn sie nur längere Zeit in gleichem Sinne wirkt. Nehmen wir z. B. eine ruhende große Kirchenglocke, so kann dieselbe durch das wiederholte rechtzeitige Stoßen mit einem Finger zum Lauten gebracht werden.

Jenachdem die elektrische Spannung der an sich nach unten etwas spitz zulaufenden Wolke oder die der Erdoberfläche größer ist, findet beziehungsweise ein Aufsteigen oder Herabgehen der Trombe statt und sie schraubt sich in dem letzteren Falle bisweilen sogar tief in darunter befindliches Wasser ein, wenn ihr der elektrische Gegensatz zu entfernt liegt.

Auch das Entgegenkommen der beiden Wirbel läßt sich aus der von mir vorausgesetzten Natur der elektrischen Bewegung ungezwungen erklären. Das Entgegenkommen ist die Folge ziemlich gleicher aber entgegengesetzter elektrischer Spannungen in der Wolke und der Erdoberfläche. Die Schwingungen müssen daher in beiden eine entgegengesetzte Richtung haben und demnach auch Spiralen mit entgegengesetzten Windungen bekommen. Wenn nun die Spiralbewegung in der oberen Trombe von oben nach unten eine linksgehende ist, so muß sie in der unteren Trombe eine von unten nach oben rechtsgehende sein. Beide

Windungen aber sind der Art gerichtet, daß sie bei ihrem Zusammentreffen eine einzige Trombe mit einer ununterbrochenen Windung geben.

Es ist sehr natürlich, daß Tromben mit einer sehr großen Drehungsgeschwindigkeit Alles auf ihrem Wege mit unwiderstehlicher Gewalt zerstören müssen und daß selbst sehr schwere Gegenstände von dem Wirbel aufwärts getragen werden. Die bei der Drehung um eine Axe sich entwickelnde Fliehkraft treibt die Dünste, die Luft und auch die aufgenommenen Gegenstände mehr nach dem äußeren Umfange des Wirbels, ohne ihn durchbrechen zu können, weil die Dichtigkeit und die Spiralbewegung nach ihm hin wächst. Dadurch entsteht um die Axe ein luftverdünnter Raum, in welchem die am Erdboden befindlichen Gegenstände aufgesaugt werden: daher kommt das Aufheben von Fußböden, Dächern, einzelnen Stockwerken, das Ausheben von Bäumen mit der Wurzel, das Ausheben und Eindrücken der Thüren und Fenster, das Auffaugen von beweglichen Gegenständen aus Stuben in die hervorgebrachten Ritzen der Wände u. dergl.

Wenn Tromben über Flüsse gegangen sind, so verlieren sie dadurch an Heftigkeit und die nur über Gewässern erscheinenden sind überhaupt im Ganzen weniger heftig und von kürzerer Dauer, als die Landtromben, weil Wasser ein besserer Leiter der Elektrizität ist, als Festland.

B. Elektrizität durch Atombewegung.

Indem wir uns in diesem Abschnitte auf die ausschließlich und rein elektrischen Erscheinungen beschränken, weil die Wechselwirkung mit anderen Schwingungsarten einer besonderen Besprechung gewidmet werden soll, haben wir nach der Reibung nur noch eine zweite Quelle der Elektrizität zu untersuchen, welche von einer Atombewegung ausgeht und nach einem italienischen Naturforscher galvanische Elektrizität genannt wird.

Die durch Reibung hervorgebrachte Elektrizität war eine durch eine äußerlich angewendete Kraft erzwungene Bewegungserscheinung der kleinsten Massentheilchen eines Körpers, welche so lange einen Ruhezustand annahmen, als die beiden Gegensätze von einander getrennt oder isolirt gehalten wurden, sofort aber eine unter Umständen von Zerstörungen begleitete Bewegung zeigten, wenn eine Verbindung derselben gestattet war. Ehe diese geschah, waren die Massentheilchen in einer ungewohnten Ruhelage, welche wir elektrische Spannung nannten. Weil vor der Verbindung ein Ruhezustand stattfindet, nannte man die Elektrizität eine statische, indem die Statik die Lehren von der Ruhe oder dem Gleichgewichte behandelt. — Nun aber werden wir elektrische Erscheinungen kennen lernen, deren Grundursache in einer durch die Verwandschaft der Stoffe erzeugten Atombewegung besteht und eine Elektrizität ist, die keines äußeren Antriebes bedarf, also auch so lange Bewegung zeigt,

wie lange diese Stoffe aufeinander wirken können. Es braucht wohl kaum angeführt zu werden, daß die Kraft dieser elektrischen Thätigkeit gleichen Schritt hält mit der durch die Atombewegung bewirkten Stoffumwandlung. Ladung und Entladung müssen also hier ununterbrochen aufeinander folgen, wenn ein Körper die Entladung vermittelt. Weil hier eine fortwährend rege Thätigkeit vorhanden ist, nannte man diese Elektrizität eine dynamische, indem die Dynamik die durch Kräfte bewirkten Bewegungserscheinungen behandelt.

Taucht man ein Stück Zink in verdünnte Schwefelsäure, so wird es negativ, die Flüssigkeit positiv elektrisch, während das Zink sich in Oxyd verwandelt, d. h. mit dem Sauerstoffe des Wassers verbindet und der Wasserstoff frei wird. Diese mit einer Atombewegung verknüpfte Verbindung des Sauerstoffes mit dem Zinke bewirkt sowohl in diesem, als auch in der Flüssigkeit eine andere Bewegung, welche sich als Elektrizität äußert.

Taucht man ein Stück Kupfer in dieselbe Flüssigkeit, so wird das Metall zwar auch negativ elektrisch, die Flüssigkeit positiv, aber beides in einem weit geringeren Grade, als es bei Zink der Fall war.

In gleicher Weise erlangen auch andere Metalle in derselben Flüssigkeit einen verschiedenen Grad von elektrischer Spannung und ebenso ein bestimmtes Metall in verschiedenen Flüssigkeiten, wobei auch die Art der Elektrizität sich ändert. Im Allgemeinen werden die Metalle in alkalischen Flüssigkeiten, wie Aetzkali, Aetznatron, Ammoniak positiv; in Säuren, wie z. B. in Salpetersäure, negativ. Aber auch selbst in Berührung mit verschiedenen Luftarten werden Metalle in verschiedener Weise elektrisch: in Wasserstoff negativ, in Sauerstoff oder Kohlensäure positiv.

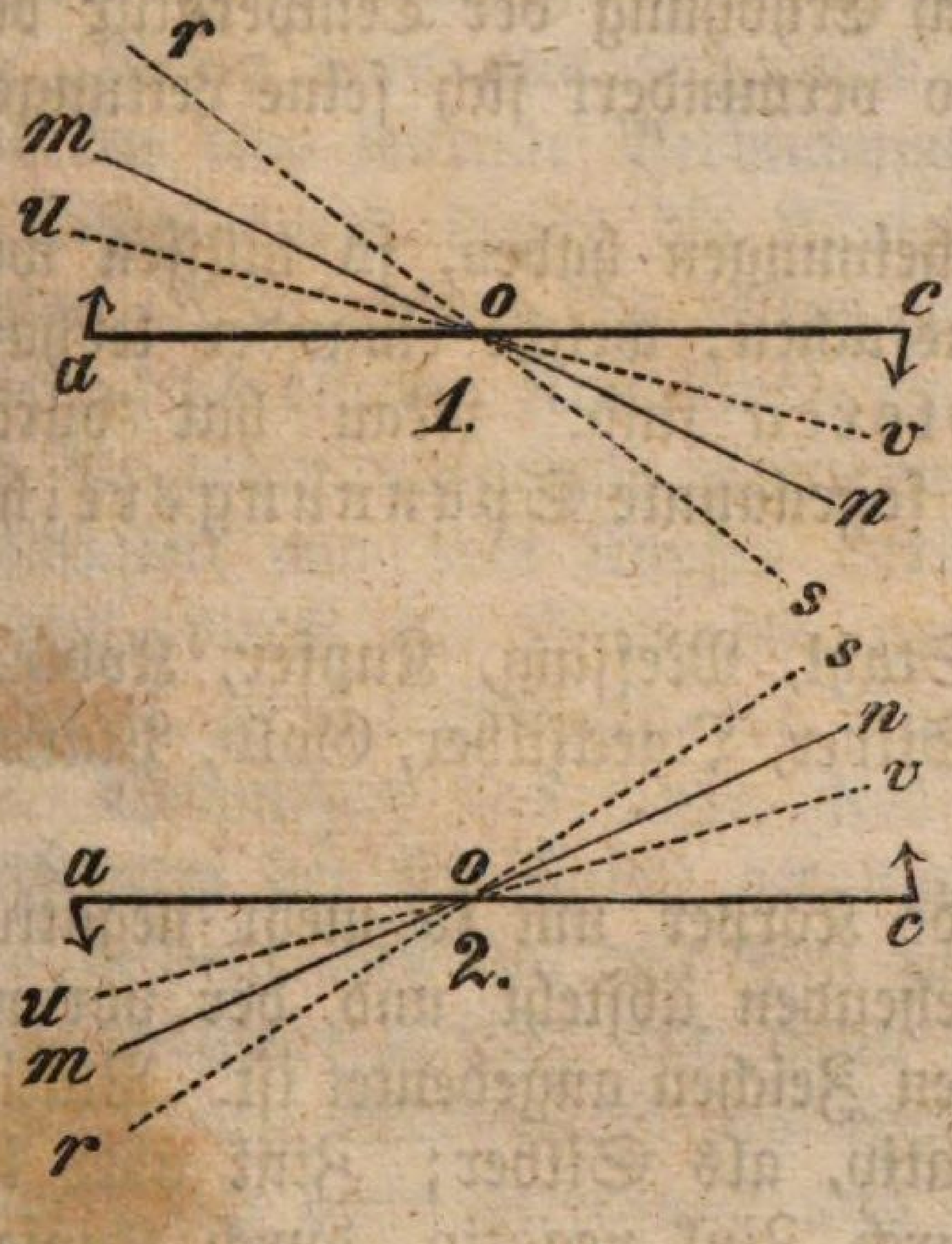
Aber selbst auch zwei verschiedene Metalle erregen einander, ungeachtet sie dieselbe Temperatur haben, elektrisch. Steht eine ebengeschliffene reine Kupferplatte mit einem recht empfindlichen Elektrometer in einer leitenden Verbindung, legt man auf sie eine ebensolche Zinkplatte, so zeigt das Elektroskop negative Elektrizität, wenn man die Zinkplatte isolirt aufgehoben hat. Ist die Zinkplatte mit dem Elektroskope in Verbindung und hat man die Kupferplatte von ihr aufgehoben, so ist die Elektrizität des Elektroskopes positiv. Hiernach steht also fest, daß zwei verschiedene Metalle bei der Berührung einander zu entgegengesetzter Elektrizität anregen.

Die elektrische Spannung ist unter übrigens gleichen Umständen bei der Berührung eines bestimmten Metalles mit verschiedenen anderen verschieden und ein bestimmtes Metall kann positiv oder negativ elektrisch werden, je nach der Natur des mit ihm in Berührung kommenden anderen Metalles.

Da die Molekel jedes Körpers bei jeder Temperatur in einem bestimmten Schwingungszustande sind, so kann der Grund dieser elektrischen

Erregung nur in einer bei der Berührung stattfindenden Uebertragung der Schwingungen, welche eine Koinzidenz bewirken, gesucht werden. Böten die zwei einander berührenden Metallplatten auch nicht die geringste Verschiedenheit nach Stoff, Gestalt, Dichtigkeit, Oberflächenbeschaffenheit u. s. w. dar; so müßte Interferenz eintreten, d. h. gar keine Erscheinung bemerkt werden. Wenn sie aber ungleichartig oder sonstwie von einer verschiedenen Beschaffenheit sind, so müssen die einander berührenden Molekel verschiedene Bewegungsgrößen besitzen und daher eine neue Bewegungsart hervorbringen.

Bei einander blos berührenden Körpern, deren Wechselwirkung ihre Natur nicht ändert, kann nur eine elektrische Spannung oder Ladung eintreten; sowie aber mit der Berührung eine thätig bleibende chemische Veränderung verknüpft ist und man gibt durch einen verbindenden guten Leiter den beiden entgegengesetzten elektrischen Zuständen der beiden einander berührenden Körper Gelegenheit, sich abzugleichen, so folgt auf jede Entladung auch eine sofortige neue Ladung und es findet in diesem Leiter, welcher dann wohl Schließungsbogen heißt, eine stets lebendige Schwingungsbewegung der Molekel statt, was man sehr mit Unrecht einen elektrischen Strom genannt hat, denn diese Bewegung hat mit einem Strömen auch nicht eine Spur von Aehnlichkeit.



(Fig. 385.)

Wollen wir uns eine mit den später anzuführenden Erscheinungen leicht in Uebereinstimmung zu bringende Vorstellung machen, so können wir an die früher (Bd. II. S. 302) erläuterte Spannungserscheinung anknüpfen. Wenn das Molekel ac (Fig. 385) eines Körpers durch den Konflikt zweier einander entgegen wirkenden Kräfte aus seiner Ruhelage ac in die neue Lage mn jenseits (positiv) oder diesseits (negativ) gebracht worden ist und darin erhalten wird, so ist von elektrischer Bewegung nicht die Rede, sondern nur von Spannung. Wenn nun aber die elektrische Erregung andauert, so wird das Molekel die Spannungslage mn überschreiten und nach rs gehen. Da aber auch in dem Molekel das Bestreben vorhanden ist, in seine frühere Spannungslage zurückzugehen, so bleibt es nicht in rs, sondern geht, wenn ihm durch Verbindung mit einem Leiter dazu Gelegenheit gegeben ist, zurück und wegen des Beharrungsvermögens über mn hinaus, etwa nach uv. Nun ist aber aufsneue die elektrische Erregung wirksam und

treibt es über mn wieder nach rs und so macht das Molekel fortwährend Schwingungen, nicht um ac, sondern um mn, was später noch durch magnetische Erscheinungen bestätigt werden wird. Die Bewegung über mn hinaus ist die Ladung, die über mn zurück die Entladung.

Wie übrigens diese elektrische Bewegung in einem ununterbrochenen guten Leiter fast augenblicklich sich fortpflanzen muß, ist auch leicht einzusehen und Bd. II. S. 36 u. 37 bereits erläutert worden.

Was man also einen elektrischen Strom genannt hat, ist nichts weiter, als eine in einem Leiter fortschreitende Schwingung der Molekel um eine durch zwei aufeinander wirkende Körper hervorgebrachte Spannungslage. Ist kein verbindender Leiter vorhanden, so tritt unter allen Umständen nur die Spannungslage ein; ist aber ein ununterbrochener Leiter da, so gehen durch ihn fortwährend aufeinander folgende Ladungen und Entladungen. Hat dieser Leiter irgendwo eine kleine Unterbrechung, so muß sich an ihr der Entladungsfunke mit allen früher angegebenen Wirkungen zeigen.

Der Grad der Leitungsfähigkeit hängt jedenfalls von der Gestalt und der Lagerung der Molekel der verschiedenen Körper ab und nicht von der Natur des Stoffes, denn ist ein Stoff, z. B. ein Harz, als fester Körper ein schlechter Leiter, so wird er im flüssigen Zustande zu einem ziemlich guten oder, wird durch Erhöhung der Temperatur der Zusammenhang der Molekel gelockert, so vermindert sich seine Leitungsfähigkeit.

Wollen wir kräftige elektrische Erscheinungen haben, so müssen wir aus den verschiedenen Körpern solche aussuchen, welche einander lebhaft elektrisch erregen oder gute Elektromotoren sind. Man hat durch vielfältige und genaue Versuche folgende sogenannte Spannungsreihe aufgestellt:

+ Zink, Blei, Zinn, Eisen, Stahl, Messing, Kupfer, Kobalt, Wismut, Spiesglanz, Arsenik, Silber, Quecksilber, Gold, Platin, Kohle —.

In dieser Reihe wird jeder folgende Körper um so mehr negativ, je weiter er von einem gewissen vorangehenden absteht und der vorangehende wird positiv, was durch die beiden Zeichen angedeutet ist. Platin wird in Berührung mit Zink mehr negativ, als Silber; Zink aber in beiden Fällen positiv. — Eisen wird durch Zink negativ, durch Kupfer positiv u. s. w.

Die elektrische Kette. Zink und Kupfer werden beim theilweisen Eintauchen in verdünnte Schwefelsäure an ihrem hervorragenden Theile zwar beide negativ elektrisch, aber in verschiedenem Grade, nämlich Zink mehr als Kupfer, während die Säure in verhältnißmäßigem Grade durch beide positiv wird. Demnach wird es möglich, durch die

Verbindung dieser drei Körper in den beiden Metallen eine entgegengesetzte elektrische Spannung zu erzeugen. Ein Beispiel mag dieses klar machen.



(Fig. 386.)

In Fig. 386 sei Z eine Zink-, K eine daneben stehende Kupferplatte und dazwischen die Säure S. Wenn Zink bei dem Eintauchen eine negativ elektrische Spannung von — 5 erlangt, so hat die Säure dadurch + 5; wenn das Kupfer — 2 erhält, so zeigt durch dieses die Säure auch nur + 2. Nun aber gestattet die Säure eine gegenseitige Abgleichung entgegengesetzter Elektrizitäten: es verbinden sich einerseits + 5 der Säure mit — 2 des Kupfers und das Kupfer hat dann + 3, andererseits verbinden sich + 2 der Säure und — 5 des Zinks und letzteres hat dann — 3.

Das Endresultat ist also, daß die beiden in der Säure nebeneinander befindlichen Metalle eine gleiche, aber entgegengesetzte elektrische Spannung oder Polarität erhalten haben, wobei Zink der negative und Kupfer der positive Pol ist und die positiv elektrische Bewegung vom Zink durch den feuchten Leiter zum Kupfer geht. Eine solche Verbindung wird eine offene galvanische oder voltasche Kette genannt.

Wenn man nun außerhalb der Säure von dem einen Metalle zum anderen eine leitende Verbindung durch ein beliebiges Metall herstellt, so findet durch dieses die Abgleichung oder Entladung der entgegengesetzten Elektrizitäten der beiden Elektromotoren statt und wir haben nun einen geschlossenen Kreislauf, eine geschlossene galvanische Kette, für die ununterbrochene Fortsetzung der Bewegung, wobei die positive Thätigkeit von dem Kupfer durch den Leiter nach dem Zink und von diesem durch die Flüssigkeit nach dem Kupfer geht. Auf diese Weise erscheint Zink außerhalb der Säure als positiv elektrisch.

Wennschon das bloße Zink durch seine elektromotorische Kraft eine Zersetzung der Flüssigkeit veranlaßt, indem es den Sauerstoff des Wassers anzieht und sich mit ihm zu Zinkoxyd verbindet, welches sich in der Schwefelsäure auflöst und dann wasserhelle Krystalle (Zinkvitriol) bildet, dagegen den Wasserstoff des Wassers frei läßt, so daß er entweicht; so steigert sich diese Zersetzung und somit die Elektrizität durch das daneben gehaltene Kupfer, welches das Wasserstoffgas anzieht und an seiner Oberfläche festzuhalten sucht.

Aus dieser Thatsache geht hervor, daß das Wasser selbst aus zwei elektrisch einander entgegengesetzten Stoffen, dem negativen Sauerstoffe und dem positiven Wasserstoffe, besteht. Der zwischen den beiden Metallen in der Flüssigkeit stattfindende Vorgang soll in der vorigen Figur durch die kleinen Kreise dargestellt werden, welche Wassermolekel

bedeuten, von denen der weiße Theil den Sauerstoff, der dunkle den Wasserstoff angibt. Der Sauerstoff des ersten an dem Zink verbindet sich mit diesem, der Wasserstoff des ersten zieht den Sauerstoff des zweiten an und bildet mit ihm Wasser und so geht es weiter fort bis zu dem letzten Wassermolekel, dessen Sauerstoff mit dem Wasserstoff des vorletzten auch noch Wasser bildet, dessen Wasserstoff aber sich an das Kupfer begibt. So also wird nur das mit den Metallen in unmittelbarer Berührung stehende Wasser zersetzt, das dazwischen befindliche bleibt, bis es nach und nach auch zu den Metallen wandert.

Auf diese Weise findet in der geschlossenen Kette anfangs zwar eine recht lebhafte elektrische Bewegung statt, aber sie vermindert sich ziemlich rasch, weil die beiden Elektromotoren ihre erregenden Eigenschaften bald verlieren, indem sie sich mit elektrisch entgegengesetzten Stoffen verbinden und abgleichen, was man galvanische Polarisation genannt hat. Wenn man aber das von der Säure schon etwas angegriffene Zink mit Quecksilber einreibt oder es amalgamirt, so währet die Thätigkeit zwar länger, ist aber geringer, wenigstens wird aber das Zink nicht so sehr angegriffen, wenn die Kette nicht geschlossen ist.

Statt verschiedene Metalle in dieselbe Flüssigkeit zu tauchen, kann man auch dasselbe Metall in verschiedene Flüssigkeiten thun, z. B. die eine von zwei Eisenplatten in konzentrirte Salpetersäure, die andere in Schwefelsäure, so daß die beiden Flüssigkeiten nur durch eine poröse und dünne Thonschicht, welche die elektrische Bewegung durch sich gestattet, von einander getrennt sind.

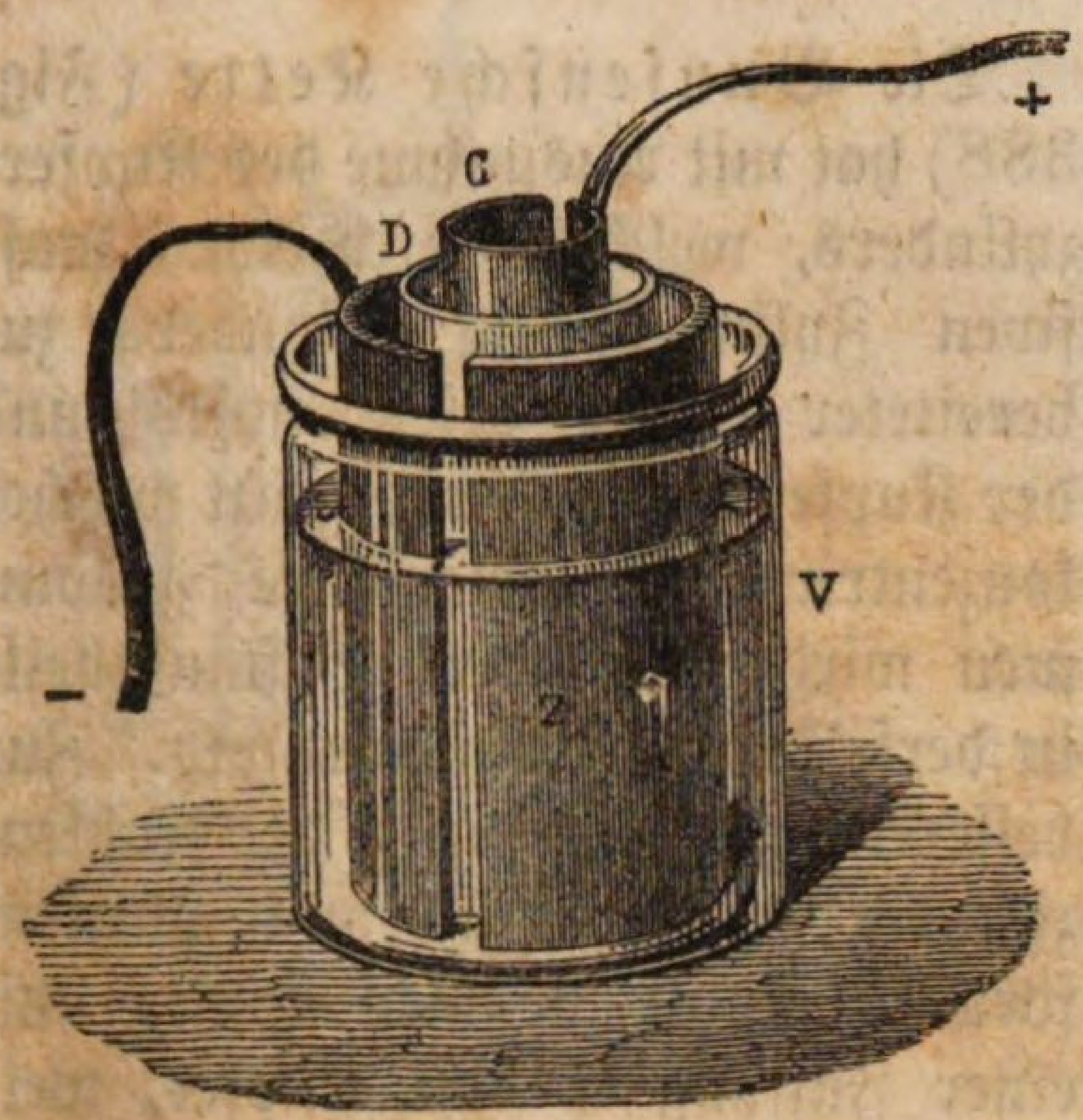
Man kann auch dasselbe Metall, z. B. Platin, mit verschiedenen Luftarten, wie mit Sauerstoff und Wasserstoff in Berührung bringen, um eine galvanische Kette zu erhalten. In diesem Falle wird Platin im Wasserstoffe stärker positiv, als im Sauerstoffe (oder Kohlensäure, Chlorgas, Bromgas) elektrisch, so daß die positiv elektrische Bewegung im Leitungsdrahte vom Platin im Wasserstoffe zu dem im Sauerstoffe geht.

Verschiedene Flüssigkeiten erregen einander bei der Berührung zwar auch elektrisch, aber diese Elektrizität entzieht sich wegen der großen Beweglichkeit der Theile sehr leicht der Beobachtung.

Vorzüglich wirksam aber ist eine Zusammenstellung aus zwei verschiedenen festen Körpern mit zwei verschiedenen tropfbaren, wenn bei jedem Paare eine recht starke Erregung, bei beiden aber im entgegengesetzten Sinne stattfindet und die Flüssigkeiten dabei ziemlich lange fast unverändert bleiben. Solche Ketten wären also beständige oder konstante Ketten. Man hat sehr verschiedene Ketten der Art gebaut, wir erwähnen hier aber nur die wichtigsten.

Die Daniellsche Kette besteht aus Kupfer und Zink mit zwei Flüssigkeiten, nämlich gesättigter Kupfervitriollösung für das Kupfer und verdünnter Schwefelsäure für das Zink. Die Einrichtung muß der Art

sein, daß die beiden Flüssigkeiten nur durch eine poröse Scheidewand, in welche sie etwas eindringen können, getrennt sind. In Fig. 387 ist V ein zylindrisches Glasgefäß, in dasselbe wird ein offener und geschlitzter Zylinder Z aus einer amalgamirten Zinkplatte gestellt, in diesen kommt ein unten geschlossenes zylinderförmiges Gefäß D aus weißem unglasurtem Thone und in letzteres ein hohler, offener und geschlitzter Kupferzylinder C. Nun kommt in das Thongefäß eine gesättigte Lösung von Kupfervitriol, welche also die Oberflächen des Kupferzylinders umspült; in das Glasgefäß aber verdünnte Schwefelsäure, welche den Zinkzylinder umgibt. An die beiden Metalle sind Kupferstreifen gelöthet, um die Kette zu schließen. Wird dieses gethan, so ist der Vorgang folgender:

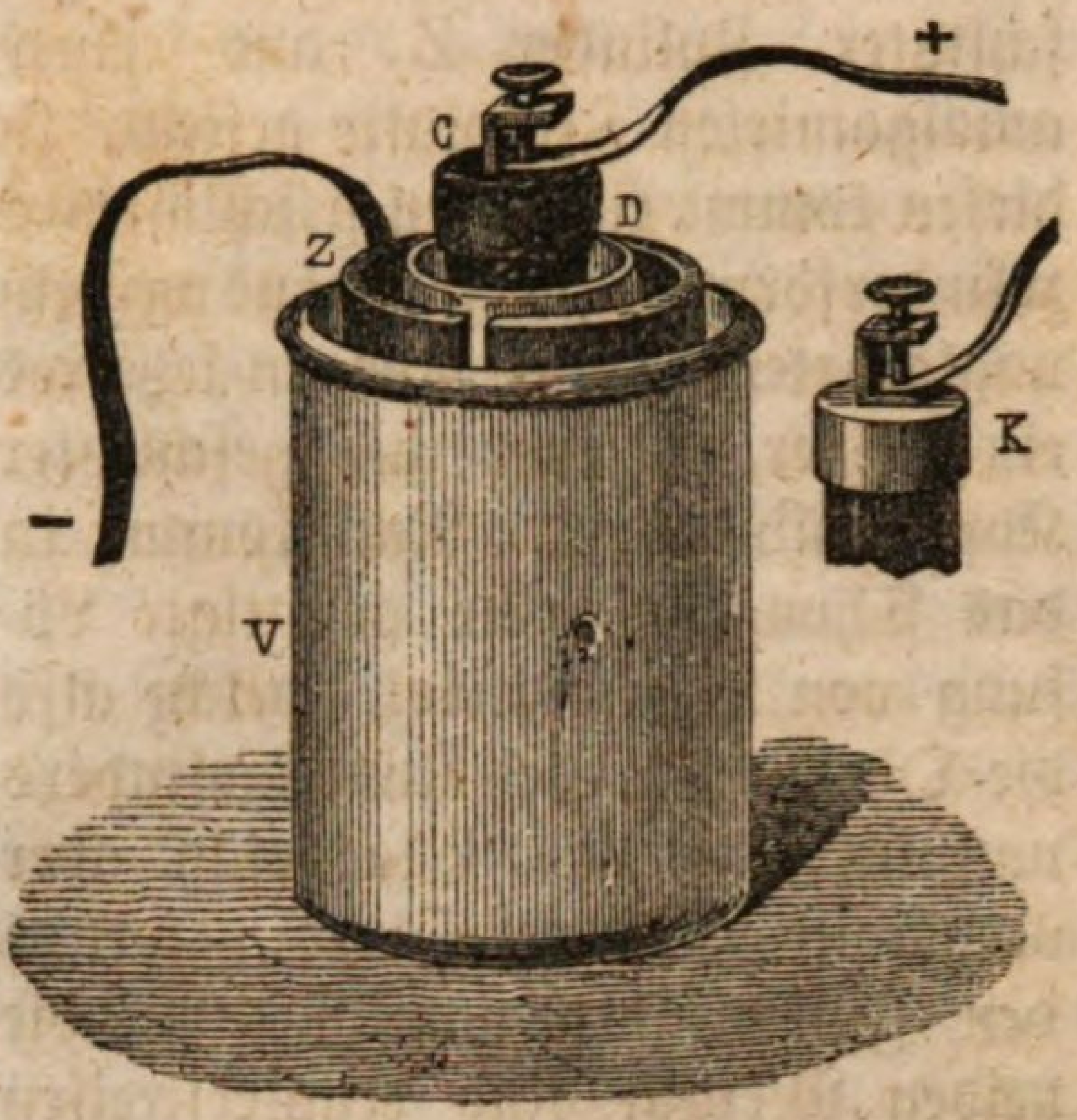


(Fig. 387.)

Am Zink wird die elektrische Thätigkeit eingeleitet, indem es sich mit dem negativen Bestandtheile des Wassers, dem Sauerstoffe nämlich, zu Oxyd verbindet, welches sich in der Schwefelsäure auflöst, und der Wasserstoff nach der Seite des Kupfers sich in Bewegung setzt. Hier trifft er die poröse Thonzelle, in welcher die beiden Flüssigkeiten einander begegnen und da er freie positive Elektrizität besitzt, so sucht er sich den negativen Bestandtheil der Kupfervitriollösung auf, nämlich den Sauerstoff, mit dem er Wasser bildet, und läßt das positive Kupfer los, welches sich an die Oberfläche des Kupfers setzt und daher dasselbe gar nicht verändert oder es, wie in der früheren Zink-Kupfer-Kette, polarisirt und dadurch die Thätigkeit so bald herabsetzt. — Ist die Kette nicht geschlossen, so befindet sich das Kupfer in einer positiven, das Zink in einer negativen Spannung oder Kupfer ist der positive und Zink der negative Pol; schließt man sie, so geht also die positive Bewegung durch den Schließungsdraht vom Kupfer nach dem Zink.

Allerdings erleiden die beiden Flüssigkeiten, während die Kette geschlossen ist, eine Veränderung und nur eben durch sie ist die elektrische Bewegung möglich; aber man kann die Kupfervitriollösung sehr leicht dadurch in einem gesättigten Zustande erhalten, daß man in sie einige Kupfervitriolkrystalle bringt und in der Schwefelsäure vom Boden des Gefäßes an einen kleinen Heber anbringt, welcher die gebildete Zinkvitriollösung (schwefelsaures Zinkoxyd) allmählig abführt, während neue verdünnte Schwefelsäure durch ein Tropfglas in gleichem Maße zugeführt wird.

Durch diese Mittel hat man es in seiner Gewalt, eine Kette herzustellen, welche durch Monate eine ziemlich gleichmäßige Wirkung zeigt. —

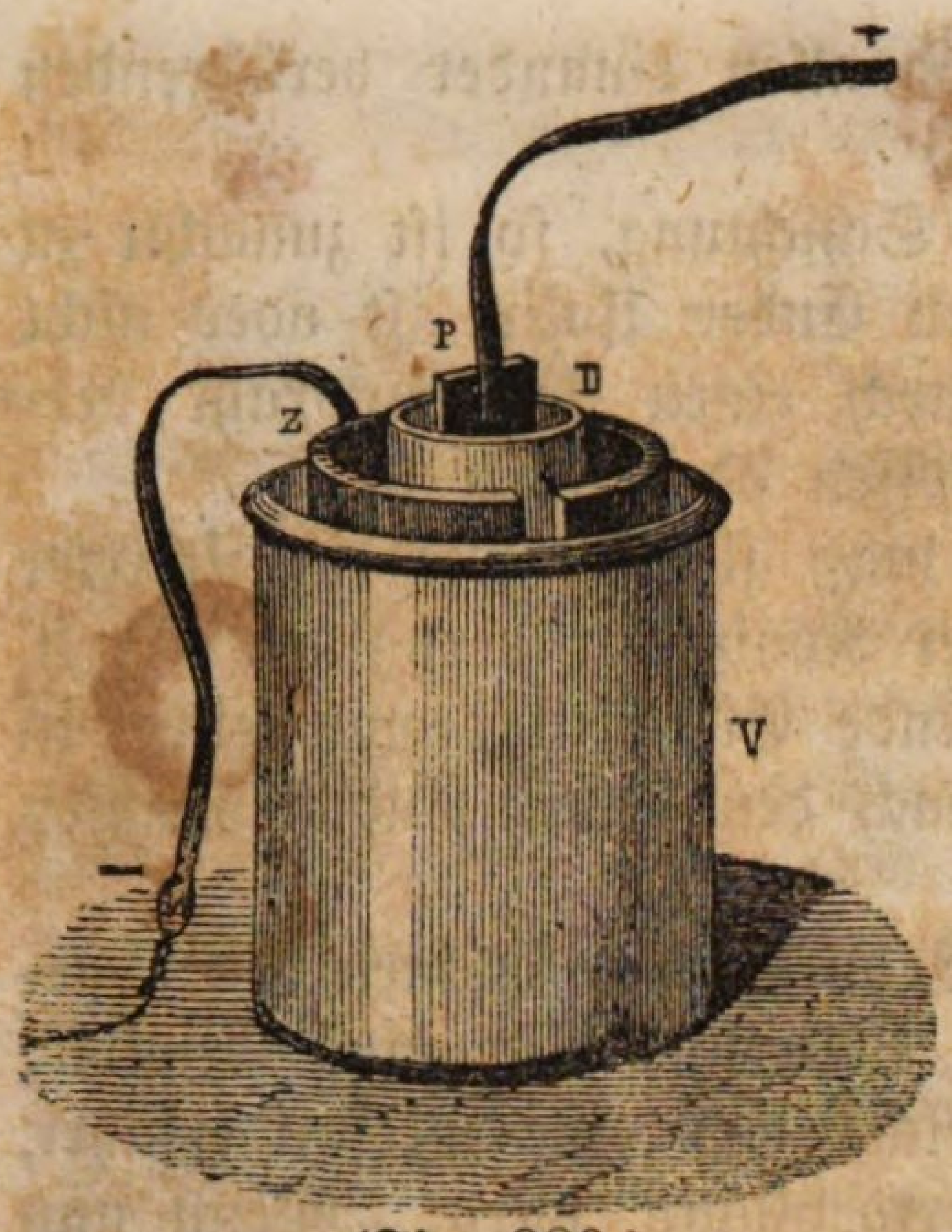


(Fig. 388.)

Die Bunsensche Kette (Fig. 388) hat mit Ausnahme des Kupferzylinders, welcher durch einen massiven Zylinder aus besonders zubereiteter Kohle ersetzt wird und der Kupfervitriollösung, statt welcher konzentrirte Salpetersäure genommen wird, dieselben Bestandtheile in derselben Zusammensetzung. Zur besseren Handhabung ist der Kohlenzylinder, wofür man auch plattenförmige Kohle nehmen kann, mit einer Fassung K von Kupfer, welches zum Schutze gegen Säuren mit einem Lack überstrichen ist, versehen. — Die Zusammensetzung ist also hier: Glasgefäß, darin Zink in verdünnter Schwefelsäure, Thongefäß, darin die Kohle in konzentrirter Salpetersäure. Die Anordnung kann auch in umgekehrter Reihenfolge vorgenommen werden, dann aber muß der Kohlenzylinder hohl sein. Die Schwefelsäure muß jedenfalls das Zink, die Salpetersäure die Kohle berühren. Den Boden des Thonzylinders überzieht man mit Siegellack. Zink ist auch hier der negative Pol und die Kohle der positive. Der durch die Oxydation des Zinks frei werdende Wasserstoff reduzirt die Salpetersäure, indem er ihren Sauerstoff anzieht. In der Thonzelle ist auch hier, während die Kette geschlossen ist, eine fortwährende Bildung von Wasser.

Diese Kette ist recht wirksam, verlangt aber eine zeitweise Erneuerung oder gründliche Auslaugung der Kohlenzylinder, welche allmählig die Salpetersäure ansaugen, wodurch auch der Kupferring von innen angegriffen wird. Lästig für die Lungen werden die bei der Schließung der Kette aus der Salpetersäure sich entwickelnden röthlichen Dämpfe von salpetriger Säure. Setzt man die Kette in einen dicht verschlossenen Holzkasten, auf dessen Boden sich ungelöschter Kalk in Pulverform befindet, so zieht dieser die Dämpfe an und wandelt sich um in salpetrigsauren Kalk.

Die Grovesche Kette (Fig. 389) hat mit der Bunsenschen eine größere Uebereinstimmung, nur daß die Kohle durch dünne Platinstreifen ersetzt wird. V ist auch das Glasgefäß mit der verdünnten Schwefelsäure, Z der Zinkzylinder, D das Thongefäß mit der konzentrirten Salpetersäure und darin das Platin P, welches die positiv elektrische Spannung erhält. Auf letzteres kann sich eine Schicht von Wasserstoff-



(Fig. 389.)

gas auch nicht ansetzen und die Wirkung abschwächen, sondern es bildet unterwegs in der Thonzelle mit dem Sauerstoffe der Salpetersäure Wasser. Abgesehen davon, daß die Säuren zeitweise einer Erneuerung bedürfen und daß Platin ein sehr kostbares Metall ist, sind diese Ketten außerordentlich empfehlenswerth, können aber namentlich aus letzterem Grunde im praktischen Leben die Bunsenschen schwerlich verdrängen, zumal diese auch sehr wirksam sind.

Hare's Kalorimotor oder Deflagrator. Je größer die mit den Flüssigkeiten in Berührung kommenden Metallflächen sind, desto größer muß die elektrische Erregung werden. Wollte man aber ebene sehr große Metallplatten anwenden, so würde der Apparat sehr unbequem werden; man hat daher sehr lange und 1 bis 1½ Fuß breite Streifen von Kupfer und Zink, welche eine Oberfläche von 50 bis 60 Quadratfuß haben, fortlaufend getrennt, aber nahe nebeneinander um einen Holzzylinder von etwa 3 Zoll Durchmesser spiralförmig gewunden und das Ganze in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure gesetzt.

Die zusammengesetzte Kette oder Kettenbatterie. Die bisher betrachteten Ketten waren einfache. Es lassen sich aber aus zwei oder mehren einfachen Ketten zusammengesetzte in gleicher Weise bilden, wie es bei der aus einzelnen Verstärkungsflaschen bestehenden elektrischen Batterie (Bd. II. S. 299) der Fall war. Wie dort sowohl alle äußeren Belegungen für sich, als auch alle inneren für sich durch Leiter verbunden wurden, so können auch hier alle positiven Metalle einerseits und die negativen andererseits mit einander leitend verbunden werden. Man erreicht dadurch wesentlich dasselbe, was man durch eine ebenso bedeutende, aber oft unbequeme Vergrößerung der Oberflächen der angewendeten Elektromotoren erlangen würde.

Die voltasche oder galvanische Säule. Legt man auf eine Zinkplatte eine etwas kleinere Tuch- oder Filzscheibe, welche man durch verdünnte Schwefelsäure angefeuchtet hat, und darauf eine Kupferscheibe; so ist das eine einfache offene galvanische Kette, bei welcher die positiv elektrische Thätigkeit vom Zinke aus durch den feuchten Leiter zum Kupfer geht.

Legt man auf diese Kette eine beliebige Menge anderer Ketten derselben Art und in derselben Reihenfolge geschichtet, so bekommt man eine voltasche Säule, welche in diesem Falle unten mit Zink beginnt,

oben mit Kupfer schließt und worin bei allen einander berührenden Metallplatten das Kupfer unten liegt.

Fragen wir nach dem Erfolge dieser Schichtung, so ist zunächst zu berücksichtigen, ob die Säule an den beiden Enden isolirt ist oder nicht und ob die beiden Endplatten äußerlich durch einen Leitungsdraht verbunden sind oder nicht, d. h. ob sie geschlossen oder offen ist.

Ist die Säule isolirt und offen, so muß sie sich wie ein isolirter und durch Vertheilung elektrisch gewordener Konduktor verhalten, d. h. es wird die nach außen sich wirksam zeigende Elektrizität von einer in der Mitte liegenden Indifferenzstelle nach den beiden Enden wachsen und entgegengesetzt sein.

So viel ist zunächst gewiß, daß jedes durch den feuchten Leiter getrennte Zink-Kupfer Plattenpaar dieselbe elektrische Erregung bewirkt; ferner, daß die elektrische Spannung, welche das eine Metall erfährt, durch das andere es berührende Metall fortgepflanzt wird. Wenn nun die vom ersten Zink durch die erste Filzscheibe gehende positive elektrische Thätigkeit mit $+1$ bezeichnet wird, so wird die durch die zweite Filzscheibe gehende $+2$ sein, weil die in dem ersten Paare erregte durch die nächst obere Kupfer- und Zinkplatte fortgeführt und die Stärke der Elektrizität der zweiten Kette auch gleich 1 sein wird.

Sind 11 Plattenpaare vorhanden, so wird die vom ersten Zink bis zum letzten Kupfer durch die 11 feuchten Leiter gehende positive Spannung nach der Reihenfolge der Zahlen

$$+1,\ +2,\ +3,\ +4,\ +5,\ +6,\ +7,\ +8,\ +9,\ +10,\ +11$$

wachsen; aber ebenso die vom Kupfer nach dem Zink gerichtete negative nach demselben Zahlenverhältnisse oder vom Zink nach dem Kupfer in der Reihe

$$-11,\ -10,\ -9,\ -8,\ -7,\ -6,\ -5,\ -4,\ -3,\ -2,\ -1$$

abnehmen.

Addirt man diese beiden Reihen, so erhält man als wirklich hervortretendes Resultat:

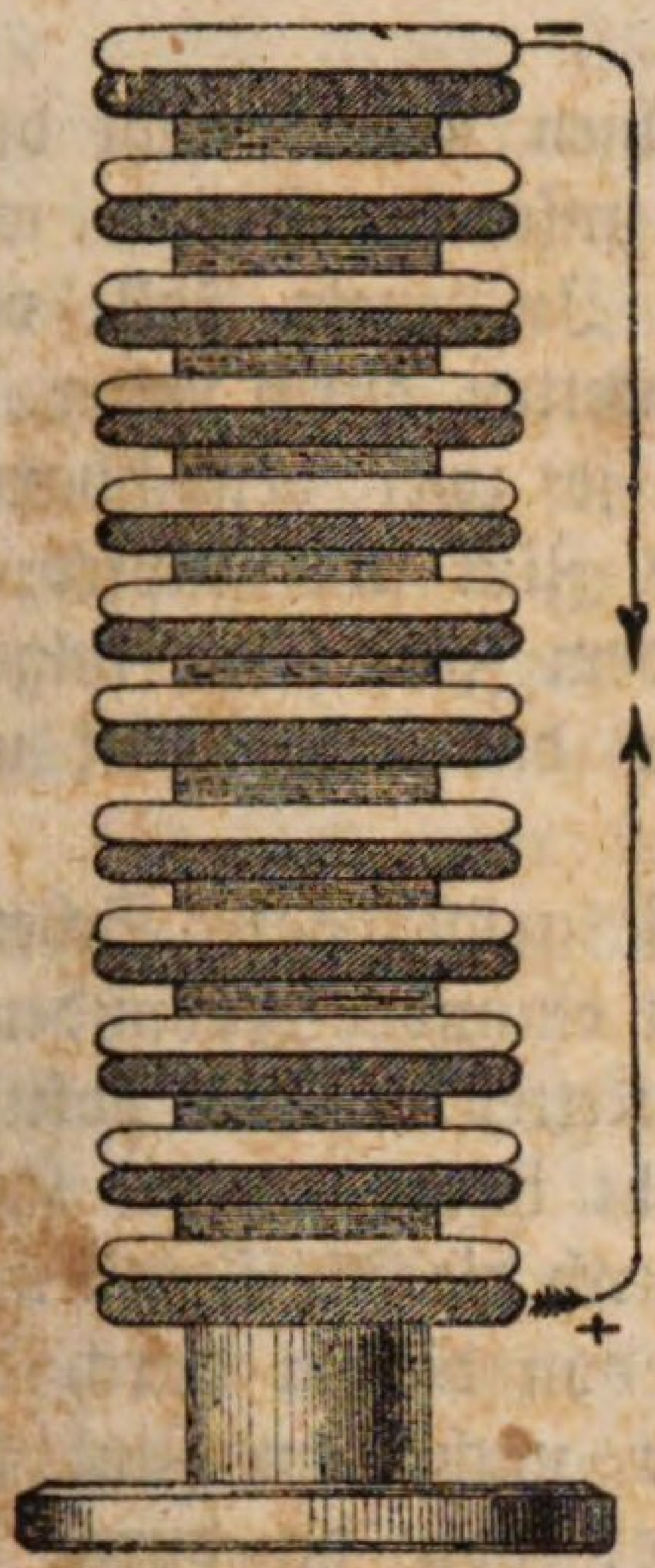
$$-10,\ -8,\ -6,\ -4,\ -2,\ \pm 0,\ +2,\ +4,\ +6,\ +8,\ +10,$$

also in der Mitte eine Stelle ohne freie Elektrizität, das Zinkende mit -10, das Kupferende mit $+10$.

In dieser Betrachtung wird nichts geändert, wenn man unter die erste Zinkplatte noch eine Kupferplatte und auf die letzte Kupferplatte noch eine Zinkplatte legt. Diese beiden Platten dienen nur als Leiter des Zustandes der sie berührenden Platten. Es wäre also dann die Kupferplatte der negative und die Zinkplatte der positive Pol.

Wenn man die beiden Polplatten durch einen Leitungsdraht schließt, so findet eine ununterbrochene Entladung und Ladung statt, wobei ohne die beiden aufgelegten Platten die positive Bewegung vom Kupfer durch den Draht nach dem Zink geht. Hat der Draht eine kurze Unterbrechung, so zeigt sich dort der Abgleichungsfunken. Die Funken zeigen

sich auch, wenn man mit dem Ende des einen Poldrahtes an den verschiedenen Plattenpaaren hinstreicht.



(Fig. 390.)

Fig. 390 zeigt die Schichtung einer solchen Säule. Unten ist zur Isolirung ein Glaszylinder, dann folgt auf jedes Plattenpaar ein feuchter Filz, welchen man etwas kleiner, als die Platten annimmt, damit die durch den Druck der darüber liegenden Platten etwa ausgepreßte Feuchtigkeit nicht seitwärts an den Platten herablaufe und die Isolirung aufhebe. Die dunkel gezeichneten Scheiben bezeichnen die Zinkplatten, die hellgehaltenen die Kupferplatten. Die positive Bewegung geht innerhalb der Säule nach unten und außerhalb im Drahte nach oben. Um der Säule eine sichere Lage zu geben, wendet man noch drei hier nicht gezeichnete Glasstäbe an, zwischen denen sie aufgeschichtet wird; sie kann aber auch horizontal gelegt werden, wobei dann mittelst einer Schraube an dem einen Ende die innigere Berührung der Platten erreicht wird.

Man kann statt der Zink- und Kupferplatten auch Silber- und Kupfermünzen anwenden. Nach jedem Gebrauche müssen die Platten wieder gut polirt werden.

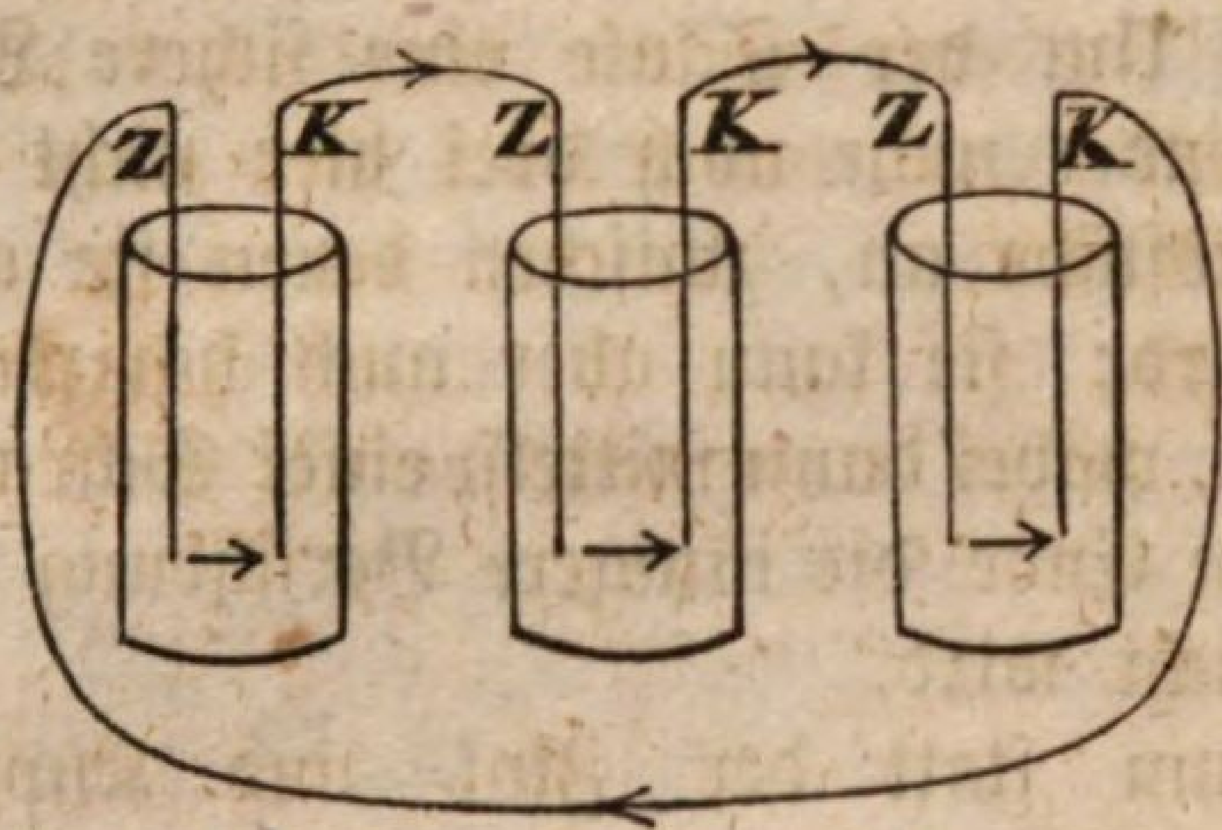
Jenachdem man die eine oder die andere Polplatte mit der Erde in Verbindung bringt, wird die seiner Hälfte zukommende Elektrizität abgeleitet und die Stärke der anderen wächst von da an bis an das andere Ende.

Die zambonische Säule besteht aus sehr vielen (Tausenden) Scheibchen von unächtem Gold- und Silberpapiere. Wenn man zwei kleine Säulen der Art anfertigt, sie in Glaszylinder einschließt, die man in lothrechter Lage so neben einander anbringt, daß entgegengesetzte Pole nach unten liegen, und dann zwischen ihnen einen schmalen Streifen von Blattgold herabhängen läßt; so hat man ein sehr bequemes Elektroskop zur Untersuchung der Art der Elektrizität. Um die beiden Pole bequem auf das Goldblatt wirken zu lassen, gehen von ihnen aus zwei Metalldrähte, welche zwei lothrechte Metallscheibchen tragen, zwischen denen das Goldblatt hängt. Dies ist Bohnenbergers Elektroskop. Man kann auch nur eine Säule anwenden, die man dann horizontal legt und von ihren Polen auch zwei Drähte mit ebenso liegenden Scheibchen gehen läßt.

Da diese Säule eine trockene ist, so werden die Metalle durch ihre Wechselwirkung nur sehr allmählig verändert, besonders in ganz

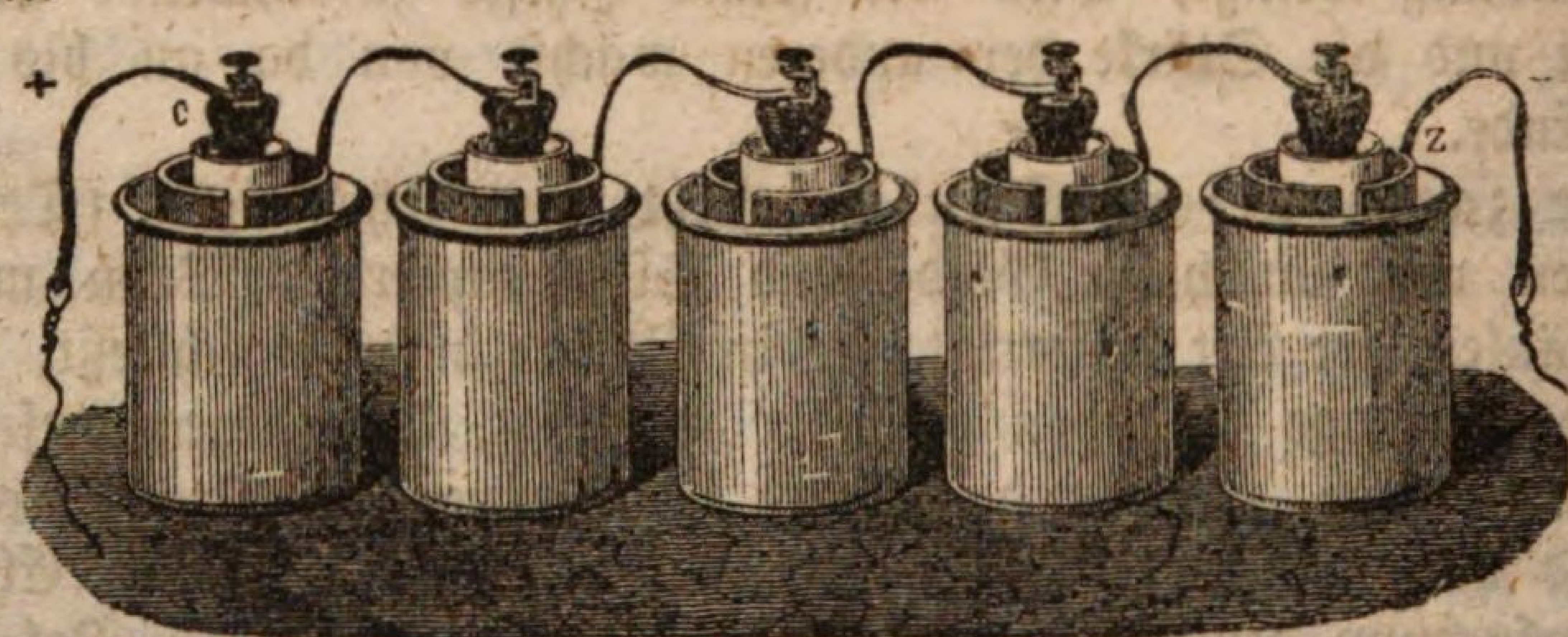
trockener Luft, und sie zeigt sich daher jahrelang wirksam. Nach einer Entladung durch die Berührung mit dem Goldblättchen erfolgt die Ladung nicht mit derselben Schnelligkeit, wie bei den früher angeführten nassen Säulen.

Die Kettensäulen. Man kann aus einzelnen Ketten nicht blos eine Kettenbatterie, sondern auch eine Kettensäule zusammensetzen, was man auch bei den leidener Flaschen thun konnte. In jenem Falle verband man alle gleichartigen Elektromotoren aller Ketten durch Leiter, in diesem aber werden nur zwei ungleichartige von je zwei benachbarten Ketten verbunden. Bestehen die Ketten z. B. aus Zink und Kupfer, so wird das Kupfer jeder vorhergehenden Kette mit dem Zink jeder folgenden durch einen Leitungsdraht verbunden und nur das erste Zink und das letzte Kupfer ist frei.



(Fig. 391.)

Fig. 391 zeigt das Schema von drei mit einander verbundenen Zink-Kupfer-Ketten. Die positive Erregung geht in der ersten Kette vom Zink durch die Flüssigkeit nach dem Kupfer, von diesem durch den Leitungsdraht nach dem Zink der zweiten Kette, von da durch die Flüssigkeit nach dem Kupfer der zweiten u. s. w. bis endlich das Kupfer der letzten Kette positiv wird. Verbindet man nun leitend das letzte Kupfer mit dem ersten Zink, so geht in diesem Schließungsbogen die positive Erregung vom Kupfer nach dem Zink.



(Fig. 392.)

Fig. 392 zeigt eine bunsensche Kettensäule von fünf Elementen, bei welcher der vom ersten Kupfer ausgehende Draht positiv, der mit dem letzten Zink verbundene negativ ist. Die Drähte werden meist durch Klemmschrauben befestigt; es würden auch Quecksilbernäpfe, in welche man die Drahtenden taucht, brauchbar sein.

Wollastens Kettensäule hat eine ganz bequeme Einrichtung, um alle Ketten gleichzeitig außer und in Thätigkeit zu setzen. Die Kupfer-

platten sind an der einen Kante um die Zinkplatten gebogen und schließen sie von beiden Seiten in geringer, durch Holzstückchen bewirkter Entfernung von ihnen ein. Eine beliebige Anzahl solcher, ganz gleich geformter und gleich großer Elemente wird an einen gemeinschaftlichen Holzstab befestigt; jede vorangehende Zinkplatte ist durch einen Kupferstreifen mit der folgenden Kupferplatte verbunden; an die erste Kupfer- und die letzte Zinkplatte sind die Poldrähte gelöthet. Außerdem ist ein der Menge der Elemente entsprechender Porzellantrog mit Zellen für jedes Element erforderlich und in diese kommt die verdünnte Schwefelsäure. Auf diese Weise kann man an dem Holzstabe alle Ketten gleichzeitig in die Flüssigkeit bringen und aus ihr nehmen. Man nennt dergleichen Vorrichtungen auch Trogapparate.

Es sind zwar noch sehr verschiedenartige Zusammenstellungen von Ketten gemacht worden, namentlich solche, in denen das beim Fortschaffen derselben so leicht stattfindende Vergießen der Flüssigkeit durch feuchten Sand, Filz u. dergl. vermieden wird, wir müssen uns aber für unsere Zwecke auf das Angeführte beschränken. Man könnte zwar noch einzelne Säulen, wie es bei den Ketten geschah, zu einer Säulenbatterie zusammensetzen, würde aber nicht wesentlich verschiedene Erscheinungen bekommen.

Ohms Gesetz. Wie in der ganzen Natur auch nicht die geringste Willkür vorkommt, sondern Alles nach ganz bestimmten und unabänderlich feststehenden Gesetzen stattfindet; so werden auch diese Erscheinungen, so mannigfaltig die dabei angewendeten Apparate sind, doch stets nach bestimmten Richtschnuren eintreten.

Vor allem treten aber die Fragen an uns: welchen Einfluß hat die Flächenausdehnung bestimmter Elektromotoren, welchen die Menge der Elemente und welchen der Leiter?

Die Kraft K der elektrischen Bewegung in einer geschlossenen Kette ist in gradem Verhältnisse abhängig von der elektrischen Spannung S, zu welcher die Elektromotoren einander anregen und im umgekehrten Verhältnisse von dem ganzen Widerstande W, welchen die Bewegung sowohl in der Kette selbst, als auch in dem Leitungsdrahte findet, also ist $K = \frac{S}{W}$.

Der Widerstand im Leiter selbst wächst mit wachsender Länge und mit abnehmendem Querschnitte desselben.

Wenn wir zunächst eine einfache, z. B. eine bunsensche Kette als geschlossen, die elektrische Spannung ihrer Glieder s, den Widerstand in ihr selbst w und den im Schließungsdrahte w' annehmen; so ist ihre Kraft $k = \frac{s}{w + w'}$.

Verbinden wir fünf solcher Ketten zu einer Säule, so ist in dieser die Spannung das Fünffache, also 5 s, aber auch der Leitungswiderstand innerhalb ihr ist fünfmal größer, als bei der einfachen Kette, ist also 5 w. Wenn nun derselbe Schließungsdraht angewendet wird, so ist die Kraft dieser Säule $\frac{5s}{5w + w'}$, und allgemein bei n Ketten in der Säule gleich $\frac{ns}{nw + w'}$.

Nimmt man in beiden Fällen einen ganz kurzen und sehr gut leitenden Draht zum Schließen der Kette, so verschwindet w'. Die Kraft der einfachen Kette war $\frac{s}{w}$, die der Ketttensäule ist $\frac{5s}{5w} = \frac{s}{w}$; also hat in diesem Falle die Vermehrung der Kettenglieder auf die elektrische Kraft keinen Einfluß, weil der Widerstand in der Säule so viel mal den der einen Kette übertrifft, als Kettenglieder in der Säule vorhanden sind.

Wenn aber der Leitungswiderstand im Schließungsdrahte groß ist, wie bei einem sehr langen oder sehr dünnen oder sehr langen und dünnen Drahte oder bei einer Flüssigkeit; so kann der Durchgang der elektrischen Bewegung nur durch Vermehrung der Plattenpaare erzwungen werden.

Wird bei einer einzelnen Kette die Oberfläche bestimmter Elektromotoren vergrößert oder werden mehre einfache Ketten zu einer Kettenbatterie verbunden, so bleibt zwar die erregende Kraft dieselbe; aber der Widerstand der größeren Flüssigkeitsschicht ist sovielmal kleiner, wievielmal die Oberfläche größer ist, da alle Theile der größeren Schicht die Bewegung mit der früheren Stärke fortpflanzen. Wäre die Oberfläche der Elektromotoren z. B. fünfmal größer, so würde der Widerstand der Flüssigkeit nur $\frac{w}{5}$ und die Kraft der Kette, wenn der Widerstand des Leitungsdrahtes verschwindend klein angenommen wird, ist $\frac{s}{w/5} = \frac{5s}{w}$, d. h. fünfmal so groß, als sie bei der Kette mit einfacher Oberfläche war. Es ergibt sich somit als allgemeines Gesetz:

> die elektrische Kraft einer einfachen Kette steht unter übrigens gleichen Umständen im graden Verhältnisse zu ihrer Oberfläche.

Darf der Widerstand w' im Leitungsdrahte nicht vernachlässigt werden, so ist die elektrische Kraft der Kettenbatterie aus n Ketten gleich

$$\frac{s}{w/n + w'} = \frac{ns}{w + nw'}.$$

Man pflegt, um die Wirkungen in den beiden wesentlichen Fällen kurz zu charakterisiren, wohl zu sagen:

Vergrößerung der Platten (Kettenbatterie) vergrößert die Quantität und Vermehrung der Menge der Plattenpaare (Kettensäule) vergrößert die Intensität der Elektrizität.

Es ist indeß zu bemerken, daß diese Ausdrucksweisen immer nur ein Nothbehelf sind, wie lange man sich von der Natur der elektrischen Bewegung eine klare Vorstellung zu machen nicht vermag und daher hat man auch zu mancherlei vergleichenden Bildern seine Zuflucht genommen. Man hat u. a. gesagt: Bei einem Plattenpaare von großer Ausdehnung (Batterie) denke man sich einen wasserreichen, aber langsam fließenden Strom; bei einer Kettensäule aber einen schnellfließenden Bach. Die Summe der Oberflächen der Elektromotoren kann in beiden Fällen (Kettenbatterie, Kettensäule) dieselbe sein; ebenso kann auch die Bewegungsgröße der beiden Gewässer gleich groß sein. Für die Sache selbst ist hiermit aber gar nichts gewonnen.

Die Wirkungsweise einer Batterie wird sich, wie wir erkennen werden, in nicht unwesentlichen Punkten von der einen Säule unterscheiden; es wird aber gestattet sein, schon hier den Versuch zu einer Vorstellung des Vorganges zu machen, um die Wirkungen besser zu verstehen.

Mit Beziehung auf Fig. 385 bemerken wir, daß die Vergrößerung der Platten (der Quantität) in einer Vergrößerung der Hauptschwingung der Molekel besteht. Je größer die Plattenpaare sind, desto weiter fort wird jedes Molekel aus seiner Gleichgewichtslage ac in die Spannungslage mn getrieben oder desto größer wird der Winkel aom oder die Elongation der Hauptschwingung. — Die Vermehrung der Kettenglieder (der Intensität) besteht in der Vergrößerung der Nebenschwingung um die Spannungslage, so daß also ro und us um so weiter jenseits und diesseits von mo liegen, je mehr Ketten die Säule hat. Die Schnelligkeit dieser Schwingungen mag von der Beschaffenheit der angewendeten Elektromotoren abhängen; jedenfalls aber bedarf der Hinweg von no nach ro oder die Ladung einer kürzeren Zeit, als der Rückweg oder die Entladung, weil diesem die fortwährend thätige Stoßkraft der Elektromotoren entgegenwirkt.

Nur daraus lassen sich die auffallenden Bewegungserscheinungen durch Elektrizität erklären, wie z. B. die Drehung einer Flüssigkeit um einen Leitungsdraht, wenn durch diesen die elektrische Bewegung geht, oder die Erscheinung, daß um einen nassen Seidenfaden, welcher das destillirte Wasser zweier sehr nahe stehenden gefüllten Gläser verbindet, sich eine kleine Wassersäule bildet, in deren inneren Seite das Wasser vom negativen zum positiven Pole, in der äußeren umgekehrt fließt, wenn man die beiden Poldrähte, selbst einer in Thätigkeit

gesetzten Reibungsmaschine, in das Wasser bringt. Das Wasser wird durch entgegengesetzt gerichtete Stöße so getrieben.

Es ist auch sehr natürlich, daß die Kohäsion eines Leitungsdrahtes abnehmen muß, wenn durch ihn elektrische Schwingungen geleitet werden.

Auch die Frage, ob zur Ueberwindung eines Leitungswiderstandes in der äußeren Verbindung der beiden Pole eine Kettensäule oder eine Kettenbatterie geeigneter ist, läßt sich mittelst des Ohmschen Gesetzes beantworten.

Wenn die elektrische Spannung einer einzelnen Kette wieder s, w ihr innerer Widerstand und der eingeschaltete äußere Widerstand 100mal größer, oder 100 . w ist; so wird bei fünf Ketten die Kraft

einer Säule $\frac{5s}{5w + 100w} = \frac{5s}{105w} = \frac{s}{21w}$ und

einer Batterie $\frac{s}{\frac{1}{5}w + 100w} = \frac{s}{100,2w}$ oder etwa $\frac{1}{100}$

von der bei der einfachen Kette und $\frac{1}{5}$ von der Kettensäule sein.

Will man also einen großen äußeren Widerstand überwinden, so muß man eine Kettensäule wählen. Dieses wird u. a. nothwendig sein beim Telegraphiren.

Unter der Wirkungen der voltaschen Elektrizität heben wir in diesem Abschnitte nur diejenigen heraus, welche mehr als rein elektrische anzusehen sind und behalten uns namentlich die elektrisch-magnetischen Erscheinungen für den letzten Abschnitt vor, wo wir die mannigfaltigen Wechselwirkungen der Molekularschwingungen einer näheren Untersuchung unterwerfen wollen.

Vertheilung der dynamischen Elektrizität. Auch hier zeigt ein elektrischer Leiter eine vertheilende Wirkung auf die Entfernung, welche man auch Induktion, hier Volta-Induktion, nennt. Weil aber hier durch den elektrischen Leiter eine fortwährende Ladung und Entladung geht und nicht, wie bei der durch Reibung erhaltenen Elektrizität, eine bloße Spannung stattfindet; so bieten diese Erscheinungen einige Verschiedenheiten dar.

Wenn man den Schließungsdraht ab einer thätigen Kette K oder Säule nahe und parallel neben einem in sich selbst geschlossenen oder ununterbrochen zusammenhängenden anderen Drahte cd, welcher mit einer Kette nicht in Verbindung steht, vorüberfährt; so entsteht in drei Fällen in cd eine elektrische Bewegung von gewisser Richtung und in drei anderen eine von entgegengesetzter Richtung und zwar:

1) wenn man die Kette K schließt oder öffnet,
2) wenn die Wirksamkeit der Kette plötzlich verstärkt oder geschwächt wird, wie etwa durch Vermehrung oder Verminderung der Gliederzahl,

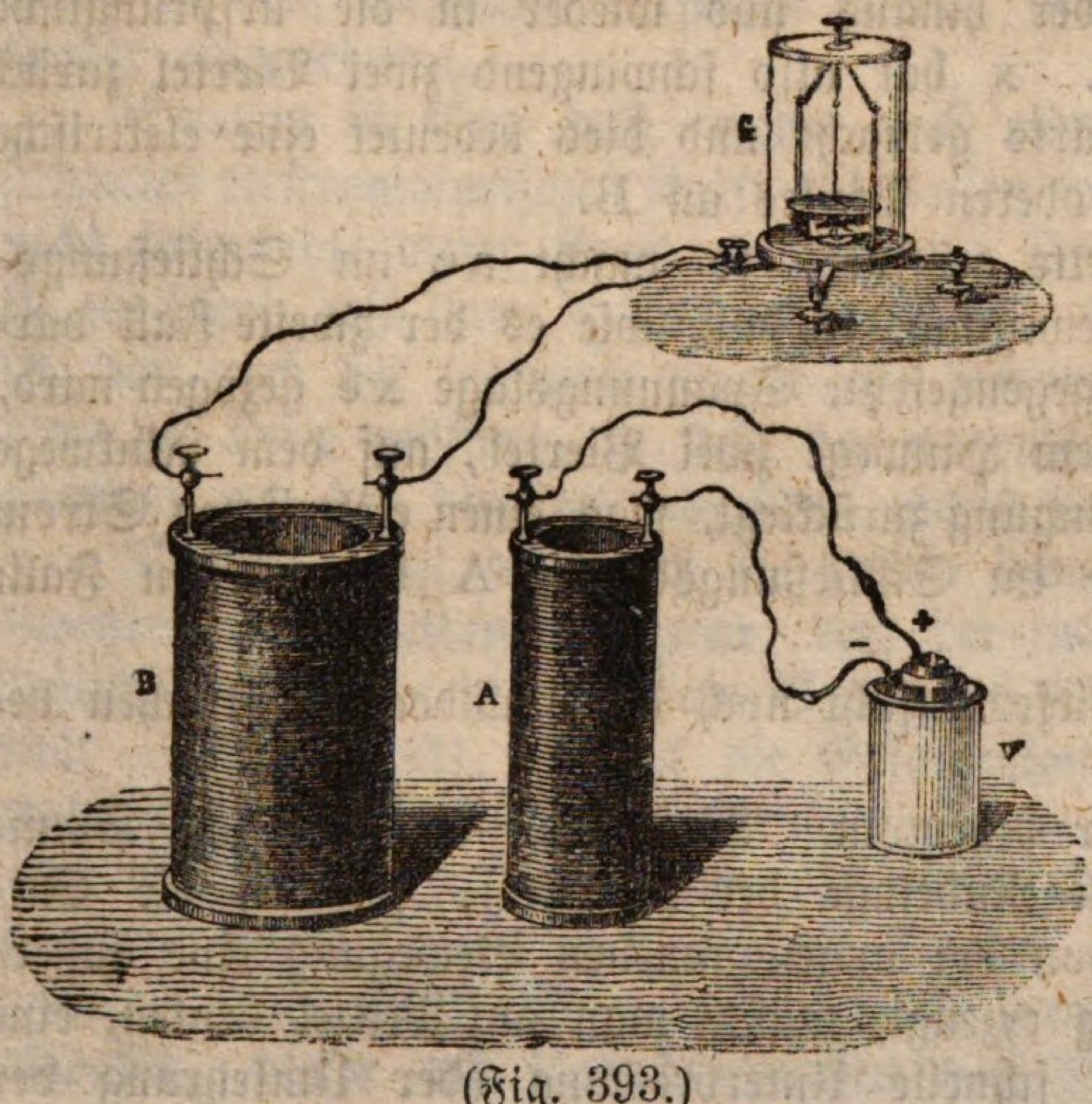
3) wenn man die beiden Drähte einander schnell nähert oder sie schnell von einander entfernt, was eigentlich der zweite Fall ist, weil mit der Annäherung eine Verstärkung der Wirksamkeit verbunden ist.

Wird die Kette geschlossen, die Wirksamkeit vermehrt oder der Schließungsdraht ab dem Drahte cd genähert, so entsteht in cd eine augenblickliche elektrische Bewegung, welche der in ab entgegengesetzt ist (eine negative) und sofort wieder aufhört, wenn auch die Kette geschlossen bleibt; wird die Kette geöffnet, die Wirksamkeit vermindert oder werden die beiden Drähte von einander entfernt, so entsteht in cd eine elektrische Bewegung, welche mit der in ab im ersten Falle einerlei Richtung (positive) besitzt und dann ebenfalls sofort wieder aufhört.

Die von der Kette ausgehende Bewegung ist die induzirende und wird gewöhnlich der **Induktorstrom** genannt, die in dem benachbarten geschlossenen Leitungsdrahte hervorgebrachte oder induzirte heißt der **Induktionsstrom**. Wenn man der Kürze wegen diese Benennungen auch beibehält, so ist doch dabei, wie schon bemerkt, an ein Strömen hier ebensowenig zu denken, als bei früheren elektrischen Bewegungen.

Aus dem Angeführten ergibt sich, daß der beim Schließen der Kette (Verstärkung oder Annäherung) hervorgebrachte Induktorstrom einerlei Richtung hat mit dem Induktionsstrome, welcher beim Oeffnen (Schwächung oder Entfernen) der Kette entsteht. Unter allen Umständen haben der induzirende und der von ihm bei einer bestimmten Veranlassung induzirte eine entgegengesetzte Richtung.

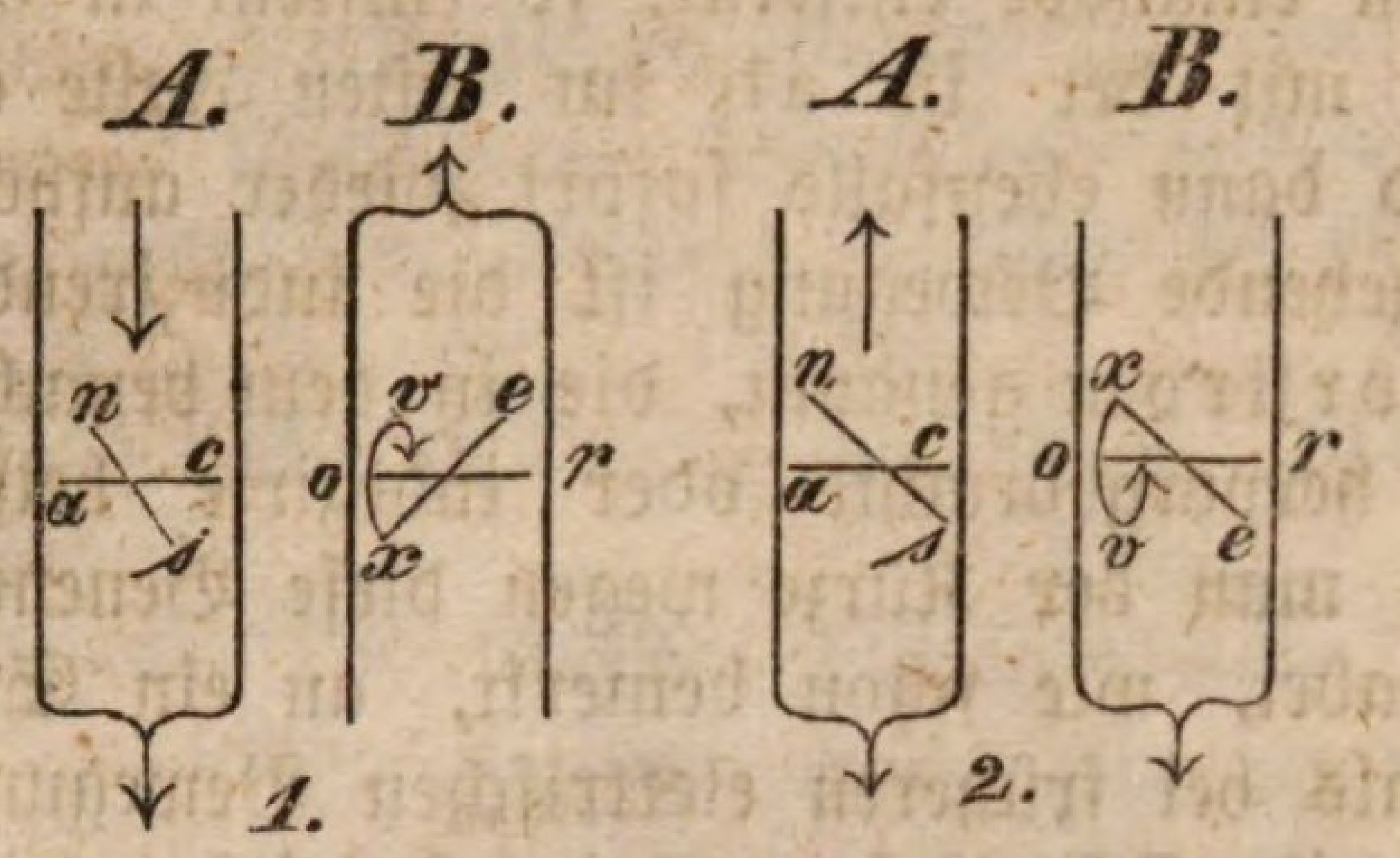
Welche Gestalt die beiden Drähte haben, ist unter übrigens gleichen Umständen gleich: sie können in grader Richtung parallel nebeneinander liegen, im Zickzack gehen oder spiralförmig gewunden sein. In dem letzteren Falle umspinnt man die Drähte mit Seide oder überzieht sie mit Guttapercha und windet sie gemeinschaftlich und fortlaufend nebeneinander auf einen hohlen Holzzylinder. Es ist aber auch statthaft, jeden Draht einzeln, wie es Fig. 393 zeigt, um einen Holzzylinder zu winden, die Enden des einen A mit den beiden Polen einer Kette V, die Enden des



(Fig. 393.)

anderen B unmittelbar mit einander zu verbinden oder in ihn noch ein später zu erwähnendes Instrument G einzuschalten, welches die Stärke der elektrischen Erregung und ihre Richtung zu messen gestattet. A ist die Induktor- und B die Induktions-Spirale. Die erste hat einen solchen Durchmesser, daß sie in die andere gestellt werden kann, um die Drähte einander möglichst nahe zu bringen.

Theorie der Volta-Induktion. Wir können uns von dieser merkwürdigen Wirkung auf die Entfernung wohl folgende und, wie mir scheint, sachgemäße Vorstellung machen. Wenn in Fig. 394 A ein Stück des Schließungsdrahtes der Kette, B eines geschlossenen Leiters ist und in A die positiv elektrische Bewegung in der Richtung der unten gezeichneten Pfeile geht, so stellt der erste Fall den Vorgang beim Schließen, der zweite den beim Oeffnen der Kette dar.



(Fig. 394.)

ac und or sind die natürlichen Lagen der Molekel ohne elektrische Bewegung, ns ist die durch letztere erhaltene Spannungslage beim Schließen der Kette; indem ac diese Lage annimmt, bringt es das Molekel or in die Lage xe. Da aber in dem Drahte B eine elektromotorische Kraft nicht thätig ist, welche or in der Lage xe festhielte, so geht es schwingend nicht nur nach or zurück, sondern nach dem Beharrungsgesetze noch darüber hinaus und wieder in die ursprüngliche Beharrungslage or zurück. x hat also schwingend zwei Viertel zurück und nur ein Viertel vorwärts gemacht und dies bedeutet eine elektrische Bewegung im Sinne des oberen Pfeiles an B.

Wird dagegen die Kette geöffnet, so macht ac im Schließungsdrahte eine rückgängige Bewegung, so daß, wie es der zweite Fall darstellt, or auch in eine entgegengesetzte Spannungslage xe gezogen wird, von welcher aus es auf dem Hinwege zwei Viertel, auf dem Rückwege nur ein Viertel der Schwingung zurücklegt, was einen elektrischen Strom in derselben Richtung wie im Schließungsdrahte A beim ersten Falle bedeutet.

Wir werden später diese Ansicht noch durch andere Thatsachen bestätigen.

Stromwender oder Rheotom. Weil nicht die elektrische Spannung (oder die erzwungene Ruhelage der Molekel), sondern die Entladung oder die Umkehr von der angenommenen Bewegung eine äußerlich hervortretende Wirkung erzeugt, mußte man auf Mittel denken, eine willkürliche und möglichst schnelle Unterbrechung oder Umkehrung der

elektrischen Bewegung hervorzubringen. Man hat sowohl für langsame, als auch für schnelle Unterbrechungen und Umkehrungen verschiedene Instrumente angegeben. Das folgende dient für beide Zwecke.

Eine kleine, mittelst einer Kurbel um ihre horizontale Axe drehbare kreisförmige Scheibe von Glas, Elfenbein oder trockenem Holze ist an ihrem Umfange mit einem Kupferringe belegt, welcher ringsum wie ein Kammrad gezahnte Ausschnitte hat, welche mit dem Stoffe der Scheibe ausgelegt sind, wodurch die Zähne von einander isolirt werden. Von dem Gestelle aus, auf welchem die Ständer für die Axe der Scheibe ruhen, gehen zwei Metallfedern, von denen die eine sich bei der Drehung an den ununterbrochenen Kupferstreifen, die andere an die Zähne und deren Unterbrechungen drückt. Berühren die beiden Federn das Kupfer, so stehen sie in leitender Verbindung; trifft die eine das Kupfer, die andere das Elfenbein, so sind sie von einander isolirt. Gehen nun von den beiden Federn mittelst Klemmschrauben zwei Drähte, so kann man den einen mit dem einen Pole einer Kette und den anderen mit dem einen Ende der Induktorspirale verbinden, während das andere Ende dieser Spirale zu dem zweiten Pole der Kette geht. Auf diese Weise ist der Stromunterbrecher in eine ununterbrochene Leitung eingeschaltet, in welcher sich Kette und Induktor befinden, so daß bei der Drehung eine dieser entsprechende Herstellung und Unterbrechung der Verbindung zwischen Kette und Induktor bewirkt wird.

Da die Induktionsströme, wie wir sehen werden, auch eine praktische Wichtigkeit haben, so müssen wir noch auf gewisse Eigenthümlichkeiten derselben Rücksicht nehmen, welche ihren Hauptgrund theils in dem zu überwindenden Ruhezustande der Molekel eines Körpers, theils in dem Bestreben derselben haben, ihre alte natürliche Ruhelage wieder einzunehmen.

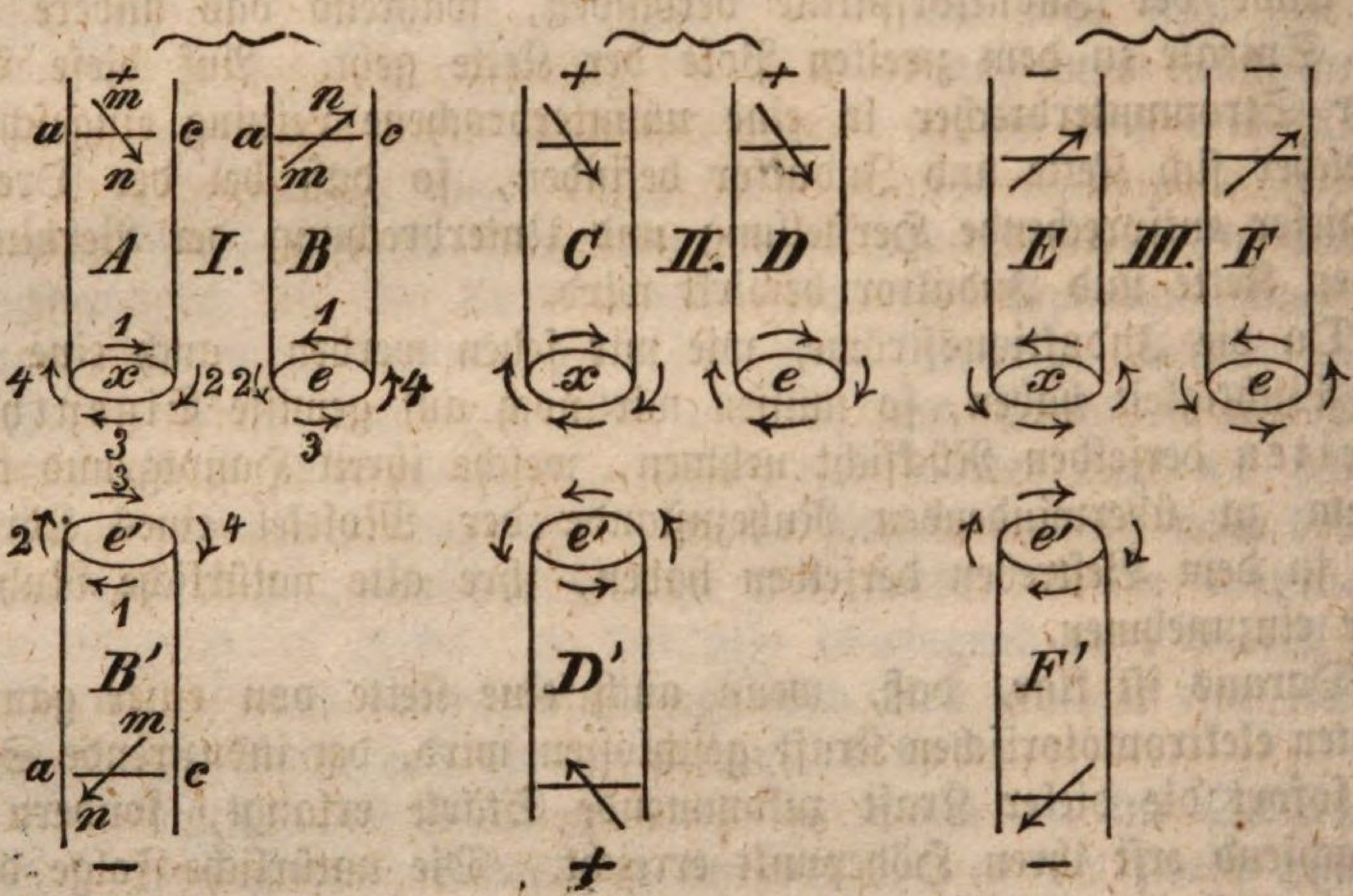
Daraus ist klar, daß, wenn auch eine Kette von einer ganz bestimmten elektromotorischen Kraft geschlossen wird, der induzirende Strom nicht sofort die dieser Kraft zukommende Stärke erlangt, sondern daß sie wachsend erst ihren Höhepunkt erreicht. Die natürliche Folge davon ist, daß auch der induzirte umgekehrte Strom allmählig wächst. Wird aber die Kette geöffnet, so steht der augenblicklichen Rückkehr des induzirenden und des direkten induzirten nichts im Wege.

Daraus folgt also, daß die beiden induzirten Bewegungen sich von einander unterscheiden, so zwar, daß der umgekehrte oder negative Induktionsstrom eine viel größere Spannung hat, als der direkte (Quantität — Intensität), obwohl die Gesammtwirkung unter Voraussetzung einer sich gleichbleibenden elektromotorischen Kraft dieselbe sein muß. Der negative Induktionsstrom wird also einen großen Leitungswiderstand in einem langen und dünnen Drahte eher überwinden, als der positive; jener wird also, wie wir sehen werden, die Magnetnadel eher ablenken, dieser bei Unterbrechungen des Drahtes eher einen Funken

geben. Ist der Leitungswiderstand ein äußerst geringer, wie bei einem sehr kurzen und dicken Drahte, so tritt dieser Unterschied nicht hervor.

Gesetz der Anziehung und Abstoßung der dynamischen Elektrizität. Nach der von dieser Elektrizität gegebenen Vorstellung befinden sich die Molekel wie bei der Reibungselektrizität auch in einer gewissen Spannungslage, zufolge welcher unter den Körpern entweder eine Anziehung oder eine Abstoßung stattfand. Je schwieriger es scheint, in das Wesen dieser geheimen Vorgänge einen Blick zu thun, desto größer ist aber der Reiz, die Natur auch in dieser Beziehung zu erforschen und dazu wollen wir einen Versuch machen.

Wie wir schon früher Fälle gehabt haben, in denen das Bestreben der Körper erkennbar ist, sich mit einander in Uebereinstimmung zu setzen (z. B. zwei nebeneinander schwingende Pendel, zwei auf einer Platte befestigte Uhren, zwei um Axen sich drehende mit einander verbundene Kugeln), so ist es auch bei den Molekularbewegungen der Fall.



(Fig. 395.)

Denken wir uns, daß in Fig. 395 A, B, C, D, E, F, Stücke dreier Paare von Leitungsdrähten seien mit einer dynamisch-elektrischen Molekularbewegung. In A, C und D wollen wir die positive, in B, E und F die negative Bewegung nach unten gerichtet annehmen; in jedem der drei Paare ist der zweite Draht (B, D, F) zweimal gezeichnet, nämlich das eine Mal neben dem ersten Drahte, das andere Mal unter dem ersten, so daß in dem letzteren Falle zwei Drahtenden einander gegenüber stehen (B' ist B, D' ist D und F' ist F). Die an den Drahtenden gezeichneten kleinen Pfeile geben die Richtung der Be-

wegung der einzelnen Molekel in jedem Drahte an und müssen bei einem bestimmten Drahte auch an anderen Stellen desselben in gleicher Richtung gedacht werden.

Betrachten wir nun das nebeneinander liegende Paar A und B, so ist klar, daß an den Schnittflächen x und e, welche alle übrigen solchen Flächen und somit den ganzen Draht vertreten, die benachbarten Molekel 2 und 2 dieselbe Richtung haben; aber auch wenn man den einen Draht oder beide um ihre Axen dreht, so wird darin nichts geändert, denn es würden nicht nur die mit einerlei Ziffern bezeichneten Molekel, wenn sie bei der Drehung nebeneinander zu liegen kommen, sondern auch alle übrigen stets einerlei Richtung besitzen. Wären die beiden Leitungsdrähte beweglich angebracht, z. B. dadurch, daß sie mittelst einer Kröpfung in Quecksilbernäpfchen hängen, die mit den Poldrähten einer Kette in Verbindung stehen; so würden sie einander anziehen. Und in der That bewirkt die nach einerlei Ziel gerichtete Molekularbewegung, daß die Körper einander anziehen. Man pflegt daher gewöhnlich zu sagen:

gleichgerichtete Ströme ziehen einander an.

In B′ ist der zweite Leitungsdraht B in umgekehrter Lage dem A gegenüber gehalten und auch da zeigt sich, daß die Bewegungsrichtung der Molekel beider Schnittflächen dieselbe ist, obwohl die beigesetzten Zahlen eine andere Aufeinanderfolge haben (3 fällt auf 1, 4 auf 2, 1 auf 3, 2 auf 4).

Erinnern wir uns aber daran, daß bei der durch Reibung erhaltenen statischen Elektrizität für die positive Elektrizität in A das Molekel ac eine andere Spannungslage hatte, als für die negative in B; so finden wir hier die vollkommenste Uebereinstimmung, weil ja auch A und B′, d. h. also:

zwei Körper mit entgegengesetzter Spannungselektrizität einander anzogen.

Gehen wir zu dem zweiten Drähtepaare C und D über, so zeigt sich, daß die einander zunächst liegenden Molekel, wie man die Drähte auch drehen mag, nicht nur in den Schnittflächen x und e, sondern auch in allen übrigen eine entgegengesetzte Bewegungsrichtung haben und daß deshalb die ganzen Drähte einander abstoßen. Der zweite Theil des Gesetzes für die dynamische Elektrizität heißt also:

entgegengesetzt gerichtete Ströme stoßen einander ab.

Dieselben Umstände treten bei dem dritten Paare E und F ein, nur daß die Bewegungsrichtung entgegengesetzt ist der vom zweiten Paare.

Beziehen wir die beiden letzten Fälle auf die statische Elektrizität, so haben wir im zweiten Falle zwei positive und im dritten zwei negative Leiter. Bringen wir D′ in die Lage D′ und F in die Lage F′, so ist augenscheinlich die Bewegungsrichtung der einander gegenüber-

stehenden Molekel in den Schnittflächen eine entgegengesetzte, so daß wir auch hier die Bestätigung von dem Gesetze finden:

zwei Körper mit gleichnamiger Spannungselektrizität stoßen einander ab.

Wenn Ströme einerlei Richtung haben, so verstärken sie einander und dies ist eine Koinzidenz; wenn sie verschiedene Richtung besitzen, so schwächen sie einander und dieses ist eine Interferenz.

Wie in der sittlichen Welt das Gleichartige einander aufsucht, das Ungleichartige einander meidet, so ist es auch in der natürlichen.

Der elektrische Funke, welcher stets bei der Abgleichung entgegengesetzter Spannungszustände, sowohl der statischen, als auch der dynamischen Elektrizität erscheint, bietet die meiste Schwierigkeit bei der Erklärung dar. Die Thatsachen, daß bei der Abgleichung entgegengesetzter Elektrizitäten die positive der negativen auf halbem Wege entgegenkommt, daß der elektrische Funke eine kürzere Dauer hat, als ein Milliontel einer Sekunde (Bd. II. S. 35) und daß er dabei eine außerordentliche Lichtstärke besitzt, lassen wohl die Vermuthung zu, daß er in stehenden Schwingungen des Weltäthers besteht. Wie wir beim Schalle fortschreitende und stehende Schwingungen haben, so wird es wohl auch beim Aether der Fall sein Unter dieser Voraussetzung läßt sich selbst die Anzahl der im Funken stattfindenden Schwingungen angeben. Wenn wir annehmen, daß zur Darstellung des weißen Lichtes 600 Billionen Schwingungen in einer Sekunde erforderlich sind, so kommen auf die kurze Dauer des elektrischen Funkens über 500 Millionen, so daß darin ein nicht unbedeutendes Bewegungsmoment liegt.

Da der Weltäther an der Bewegung der Körpermolekel theilnimmt, so muß er zwischen zwei Körpern von einer entgegengesetzten elektrischen Spannung in einem verschiedenen Zustande der Dichtigkeit sein wegen der entgegengesetzten Lage der Molekel, wie es die obige Figur in A und B′ durch die beiden Schwingungslagen von ac andeutet.

Es ist also wohl natürlich, daß sich diese Verschiedenheit bei hinreichender Annäherung der Körper gegeneinander abgleicht, wodurch der Aether in Schwingungen geräth. Es ist also, weil der Weltäther alle Körper durchdringt, auch nothwendig, daß eine Funkenentladung sich innerhalb aller Körper geltend macht und sie wird nur nach dem Grade der Beweglichkeit der Molekel bei den verschiedenen Aggregatzuständen einige Verschiedenheiten zeigen: bei den festen Körpern ein Phosphoreszieren, Glühen, Schmelzen, Zerstäuben; bei den tropfbaren und luftigen einen hellen Glanz und Schall. Bei der Entladung schwingen die Molekel zurück nicht blos in die Gleichgewichtslage, sondern nach dem Beharrungsgesetze darüber hinaus und wieder zurück in die natürliche Lage, wie es bei einem Knalle der Fall war. Weil an dieser Bewegung die zwischen den einander abgleichenden Körpern vorhandene Flüssigkeit theil-

zunehmen gezwungen wird, geschieht eine Ausdehnung derselben und darauf folgt der Entladungsknall.

Aber nicht blos bei der Annäherung der beiden Poldrähte zeigt sich ein Funke, sondern auch bei der Trennung derselben, der sogen. Trennungsfunke. Dieser ist eine Folge der nach dem Beharrungsgesetze fortgesetzten Schwingungen der Molekel, welche über die Gränzpunkte der Stücke des Leitungsdrahtes in den nun dazwischen liegenden irdischen Stoff und den Weltäther fortgepflanzt werden.

Von den Stoffen, zwischen welchen die Entladung stattfindet, werden ganz kleine Theilchen mit hinübergerissen und dadurch, sowie durch die Beschaffenheit des Zwischenkörpers, bekommt der elektrische Funke verschiedene Farben.

Wenn man durch ein Silberplättchen von einer Goldkugel einen Funken schlagen läßt, so zeigt die Platte auf beiden Seiten eine kreisförmige Goldablagerung.

An dem positiven Pole, an welchem sich der negative Sauerstoff bildet, erscheint zuerst dunkle Wärme mit ihren langsamen und weiten Schwingungen, an dem negativen Pole, an welchem der positive Wasserstoff entsteht, erscheint zuerst Licht, unabhängig von Verbrennung, und zwar als Blau mit der größten Schwingungszahl, während es am positiven roth ist. Sauerstoff hat viel Leuchtkraft und wenig Wärme, Wasserstoff wenig Leuchtkraft und viel Wärme; aber erst, wenn Licht und Wärme bis zu einem gewissen Grade gesteigert sind, geben sie Flamme. Es ergänzen also Licht und Wärme einander bei der Herstellung des Gleichgewichtes. — Entladet man eine starke Kettenbatterie durch zwei zugespitzte Eisenzylinder, so sagt uns selbst das Gefühl des bloßen Fingers, daß der negative noch kalt ist, während der positive schon sehr heiß wird.

Merkwürdig ist noch, daß das Licht zwischen den beiden Polen, selbst im luftleeren Raume, ein geschichtetes ist mit hellen und dunkleren Streifen. Es ergibt sich aber, wie ich glaube, daraus, weil die Molekularschwingungen von beiden Polen in dem dazwischen liegenden Stoffe, und wenn es auch nur der Weltäther ist, einander entgegen kommen und somit an gewissen Stellen Koinzidenz, an anderen Interferenz bewirken. Je schlechter der Zwischenstoff leitet, desto weniger tritt diese Erscheinung hervor, auf einen um so kleineren Raum beschränkt sich die Lichterscheinung und um so intensiver ist sie. — Das geschichtete Licht zeigt sich sehr schön und mit verschiedenen Farben, wenn man in dem luftleeren Raume Dämpfe von Terpentinöl, Schwefelkohlenstoff, Phosphor u. a. hat. — Steht in dem leeren Raume ein Glas von Uranglas, reicht der positive Poldraht bis an seinen Boden und der negative nur über den Rand, so scheint das prachtvolle Licht überzulaufen.

Außerordentlich stark ist das elektrische Kohlenlicht. Man macht aus den Koaks, wie sie sich am Boden der Retorten in Gasanstalten absetzen, zugespitzte kleine Zylinder und bringt diese in einem luftleer gemachten Glaszylinder mit den Poldrähten einer Säule von großen und vielen Platten in gute Verbindung. Ist die Säule kräftig genug, so entsteht das Licht bei größerer Annäherung der Kohlenspitzen auch in der atmosphärischen Luft und selbst im Wasser und man kann dann die beiden Spitzen allmählig von einander etwas entfernen, ohne das Licht zu unterbrechen. In dem entstandenen Lichtbogen ist eine so ungeheure Gluth, daß darin Platin wie Blei schmilzt, Kalk, Quarz, Saphir u. s. w. flüssig, Reißblei und selbst der Diamant verflüchtigt werden. — Man kann auch am negativen Pole eines Induktionsstromes einen Zylinder aus Holzkohle, am positiven einen Platindraht anbringen. Nimmt man statt dessen ein Bündel von Platindrähten, so zeigt sich an ihm nach längerer Zeit Kohlenpulver mit mikroskopischen Diamanten (d. h. mit krystallisirtem Kohlenstoffe), wodurch man z. B. Rubinen schleifen kann.

Das elektrische Kohlenlicht ist nicht das Produkt einer Verbrennung, denn es zeigt sich auch ohne Sauerstoff. Es sind Schwingungen des Weltäthers, welche durch die bei der Abgleichung der Gegensätze zwischen den beiden Polen mit hinübergeführten Massentheilchen der Kohle, des Eisens u. dergl. eine verschiedene Farbe zeigen, also die Schwingungszahl ändern.

Man hat dieses Licht u. a. für Leuchtthürme benutzt. — In Nordamerika habe ich gesehen, wie man bei großen Volksversammlungen im Freien große Plätze, auf denen Reden gehalten wurden, auf diese Weise taghell erleuchtete. 50 bunsensche Elemente geben eine Lichtstärke, die der vierte Theil der Stärke des Sonnenlichtes und an 600 Wachskerzen zu ersetzen imstande ist. — Dieser Lichtbogen gibt, wie die Sonne, ein Spektrum mit Linien, welche aber hell sind und je nach den Stoffen der Leitungsdrähte eine verschiedene Farbe zeigen, weil Theilchen von diesen Stoffen mit übergeführt werden.

Wenn die Lichtstärke der Sonne 100 angenommen wird, so ist die des drummondschen Kalklichtes nur 0,685, das Kohlenlicht am positiven Pole bei 40 bunsenschen Ketten in 1 Batterie nach 2 Stunden 13,6; in 2 Batterien zu 1 Säule aber 23,8 und bei 138 Ketten in 3 Batterien zu einer Säule 38,5. Es ist also vortheilhafter, aus den Ketten mehre Batterien zu machen und diese zu einer Säule zu verbinden.

Die Wärme, welche im Schließungsbogen erzeugt wird, ist um so bedeutender, je größer die Kraft der Elektromotoren, je bedeutender ihre Oberfläche, je kürzer und dünner der Schließungsdraht ist und je schlechter er leitet. Die kurze Dauer des Entladungsschlages der statischen Elektrizität vermag nicht einen Leitungsdraht zu schmelzen, und selbst der Gewitterschlag zeigt meist nur eine oberflächliche Schmelzung;

aber die dynamische Elektrizität einer einfachen Kette mit großer Oberfläche, wie z. B. des Deflagrators von Hare, bringt leicht ein Glühen selbst dicker und ein Schmelzen dünner Eisendrähte hervor. In diesem Falle ist die elektrische Spannung eine bedeutende, d. h. die Hauptschwingung der Molekel eine große und es folgt während der Schließung der Kette ununterbrochen auf jede Ladung die Entladung, also sind die Molekel in einer fortwährenden Schwingung, welche so bedeutend werden kann, daß der Zusammenhang gelockert und aus dem festen Körper ein flüssiger wird, welcher in kleinen Partien die Kugelform annimmt. Die Kügelchen sind, wie ich gefunden habe, hohl mit einem krystallinisch-körnigen Aussehen im Innern. Dieses ist eine Folge des Schwingungszustandes der Molekel, bei welchem sie im Innern der geschmolzenen Masse einander abstoßen und sich nach der Richtung des geringsten Widerstandes, d. i. nach außen, wenden. Die kleinsten Kügelchen mögen allerdings voll sein, weil dort die abstoßende Kraft zu gering ist und sehr große würden wohl wegen der überwiegenden Massenanziehung auch sich vollständig füllen.

Ist der Draht ein schlechterer Leiter, so wirken die elektrischen Schwingungen eine längere Zeit auf dieselben Stellen, ehe sie sich den Fortgang erzwingen und daher muß ein solcher Draht eher warm werden, als ein gut leitender.

Daß aber ein dünnerer Draht schneller erglüht, als ein dicker und ein kurzer schneller, als ein gleich dicker längerer, beruht darauf, daß dasselbe elektromotorische Bewegungsmoment in der kleineren Masse eine größere Geschwindigkeit (höhere Temperatur) erzeugen muß, als in der größeren Masse. Wenn daher in einem Leitungsdrahte dünne Stellen mit dickeren abwechseln, so werden die letzteren nur warm, während die ersteren glühen.

Galvanokaustik. Von dem Glühen dünner Platindrähte an dickeren Leitern hat man zu medizinischen Zwecken höchst wichtige Anwendungen gemacht. Man ist nämlich imstande, Polypen und andere Auswüchse selbst an schwer zugänglichen Orten ziemlich schnell, schmerzlos und ohne großen Blutverlust abzubrennen. Man macht aus dem noch kalten und dünnen Platindrahte, welcher sich an einer geeigneten leitenden Vorrichtung befindet, um das Gewächs eine Schleife und zieht dieselbe zu, indem man gleichzeitig die Kette schließt, um den Draht glühend zu machen.

Die Stärke des Erglühens ist von dem umgebenden Stoffe nicht unabhängig, ist z. B. im Wasserstoffe viel schwächer, als im Sauerstoffe oder Stickstoffe, weil der Draht in jenem eher erkaltet und somit besser leitet, als in diesem. Die Funken erscheinen im heißen Wasser schwieriger, als im kalten und im gesäuerten gar nicht, weil es zu gut leitet; die Funken erscheinen im trockenen, wie im feuchten Erdboden selbst auf große Entfernungen der Kette und selbst auch in solchen

Gasen, welche eine eigentliche Verbrennung unmöglich machen, wie kohlensaures Gas und Stickstoff. Dies ist wieder ein deutlicher Beweis davon, daß der Funke eine Schwingungserscheinung des alle irdischen Stoffe durchdringenden Weltäthers ist.

Die Glühversuche hat man bereits vielfältig in Anwendung zu bringen gewußt, wie z. B. zum Sprengen der Steine, großer Felsen, gefährlicher Eisstopfungen und namentlich im Minenkriege. Diese Art zu sprengen ist viel sicherer und zuverlässiger, als die frühere, bei welcher man Zünder und Zündfäden nach dem Pulver leitete und aus ihrer Beschaffenheit und Länge auf die Zwischenzeit vom Augenblicke des Anzündens bis zum Augenblicke der erfolgenden Explosion einen Schluß machte. Abgesehen davon, daß längere Leitungen irgendwie beschädigt oder unbrauchbar gemacht werden konnten, ließ sich die Zeit für die zu bewirkende Explosion, was namentlich im Kriege höchst wichtig ist, selten mit absoluter Sicherheit angeben. Durch die elektrischen Zündungen hat man den rechtzeitigen Augenblick ganz in seiner Gewalt.

Schon bei mäßigen elektrischen Erregungen entwickelt sich Wärme, deren Grad man auf verschiedene Weise zu bestimmen gesucht hat. Das elektrische Luftthermometer besteht aus einer leeren Glaskugel, an welche sich eine Thermometerröhre mit einem kurzen Quecksilberfaden schließt; in der Kugel ist eine Drahtspirale, durch welche die Elektrizität geleitet wird. — Man kann die Elektrizität auch durch Platindrähte von verschiedener Länge welche sich in Weingeist befinden, leiten und die Ausdehnung desselben mittelst einer daran befindlichen Thermometerröhre messen.

Chemische Wirkungen. Wie einerseits die chemische Wirkung auf die Elektromotoren in dem Schließungsdrahte die elektrische Bewegung erzeugt, so ist andererseits diese auch fähig, chemische Trennungen und Verbindungen hervorzubringen, wenn man nur den Leitungsdraht unterbricht und an den Unterbrechungsstellen die Körper einschaltet, so daß durch sie fortwährende Ladungen und Entladungen gehen oder fortwährende Schwingungen stattfinden. Bei der Elektrizität durch Reibung gehört eine kräftige Maschine dazu und der zu zerlegende Körper muß eingeschaltet werden in eine Leitung zwischen den negativen und positiven Konduktor.

Wie schon innerhalb der Kette selbst das Wasser in seine Bestandtheile zerlegt wird, so kann diese Trennung auch außerhalb derselben hervorgebracht werden und es kann an dem positiven Drahte das Sauerstoffgas im ozonisirten Zustande, an dem negativen das Wasserstoffgas in mit Wasser gefüllten Gläschen aufgefangen werden. Von letzterem entwickelt sich in einer bestimmten Zeit dem Raume nach doppelt so viel, wenn man die Poldrähte mit Platinstreifen endigen läßt, damit sie nicht angegriffen werden, wobei man behufs der besseren Leitung verdünnte Schwefelsäure von dem spezifischen Gewichte 1,34 anwendet.

Da die Menge der entwickelten Gase gleichen Schritt hält mit der Stärke der elektrischen Bewegung, so läßt sich für letztere eine Vorrichtung, das sogen. Voltameter, zur Bestimmung ihrer relativen Größe angeben, denn man braucht nur die beiden Gase in einem genau eingetheilten Glaszylinder gemeinschaftlich aufzufangen. Man kann diejenige Elektrizität als Maßeinheit annehmen, durch welche in 1 Minute 1 Kubikzentimeter Knallgas von 0° Wärme bei 760 Millimiter Barometerstand gebildet wird.

Die Stärke des Stromes kann auch bestimmt werden durch die Menge des in einer bestimmten Zeit durch die Kette oxydirten Metalles. Wenn man Platin und amalgamirtes Zink in verdünnte Schwefelsäure mit dem spezifischen Gewichte 1,068 bringt und in einer gewissen Zeit am Platinpole 1 Gran Wasserstoff erhält, welcher mit 8 Gran Sauerstoff sich zu 9 Gran Wasser verbindet; so haben sich grade 32,3 Gran Zink oxydirt. Wir können das allgemeine elektrolytische Gesetz aufstellen:

die Menge der Zersetzungsprodukte ist der Stärke der elektrischen Bewegung verhältnißmäßig.

Da der elektrische Strom um so stärker ist, je leichter sich das positive Metall in der Kette oxydirt, so läßt sich die Beobachtung der Stromstärke zur Beurtheilung der Güte von Metalllegirungen anwenden. Stellt man zwei Blättchen von verschiedenen Goldlegirungen in Salpetersäure, so ist das die weniger gute Sorte, nach welcher im Leitungsdrahte die positive Bewegung geht.

Eisen wird nicht durch das in der Spannungsreihe folgende negativere Kupfer, sondern durch das vorangehende positivere Zink vor dem Roste geschützt. Man wird also zu Bedachungen galvanisirtes, d. h. mit einem Zinküberzuge versehenes Eisen anwenden müssen. In Amerika wendet man eine Guttaperchaauflösung an, mit welcher man beide Seiten der Eisenplatten gut bestreicht; diese aber wirkt nicht etwa galvanisch, sondern hält blos die Feuchtigkeit vom Eisen ab. — Stahlsachen rosten nicht, wenn man ein Stückchen Zink auf sie legt.

Kupfer wird natürlich auch durch Zink geschützt und wenn letzteres auch nur $^1/_{150}$ der Oberfläche des ersteren einnimmt. Man wollte daher die Kupferbeschläge der Seeschiffe auf diese Weise vor der ziemlich schnellen Zerstörung durch die Salze schützen, aber es zeigte sich der Uebelstand, daß sich dann auf die am Kupfer niedergeschlagenen erdigen Bestandtheile ungeheuer viele Schalthiere ansetzten, welche die Beweglichkeit der Schiffe störten

Wenn kalkhaltiges Wasser in bleiernen Röhren fortgeführt wird, so werden diese an den Löthungsstellen durch den Einfluß des Lothes leicht durch Kalk verstopft.

Bei der Zerlegung der Salze, wie des schwefelsauren Natrons, des salpetersauren Kalis, wandert die Säure vom negativen zum positiven

Pole, die Basis (auch das Metall) in entgegengesetzter Richtung, also erscheint die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole.

Ist der Körper eine Wasserstoffsäure, so scheidet sich Wasserstoff am negativen, der andere Bestandtheil (bei Salzsäure das Chlor) am positiven Pole ab.

Bei der Zerlegung eines Körpers durch Elektrizität vereinigen sich die dadurch erhaltenen Stoffe entweder zu neuen chemischen Verbindungen oder sie werden an den Polen ausgeschieden, wenn die Verwandtschaft zu ihnen geringer ist.

Die elektromotorische Kraft der Elemente und die Stärke der chemischen Verwandtschaft bringen, je nach ihrem Verhältnisse, verschiedene Erscheinungen hervor. Es ist z. B. die unmittelbare Berührung des metallischen Leiters mit der zu zerlegenden Flüssigkeit nicht nothwendig, ja es findet sogar eine Ueberführung eines Stoffes durch einen anderen Körper von geringerer Verwandtschaft statt, wenn die treibende elektrische Thätigkeit stark genug ist.

Wenn man bei drei kleinen nebeneinander stehenden Bechern A, B, C, den A mit B und B mit C durch nasse Baumwollenfäden verbindet, in den Becher A schwefelsaures Kali, in B eine Ammoniumauflösung, in C Wasser thut, nach A den negativen, nach C den positiven Poldraht leitet; so wird die Schwefelsäure durch B und die Fäden nach C geführt, obwohl sie zu dem Ammonium eine ziemlich große Verwandtschaft besitzt.

Da die zersetzten Bestandtheile nicht nur durch chemisch mit ihnen verwandte Flüssigkeiten, sondern auch durch Halbleiter, wie thierische Blasen und selbst durch den lebenden thierischen Körper geführt werden können, so dürfte die Frage gestattet sein, ob diese Thatsache nicht zu medizinischen Zwecken eine größere Verwendung finden könnte, als es bisher geschehen ist, um dem kranken Körper ohne Unbequemlichkeit und doch eindringlich diejenigen Stoffe (z. B. Jod) zuzuführen, welche ihm zu seiner normalen Gesundheit fehlen oder welche als schädlich durch einen zugeführten neutralisirt werden können, wenn man während der Operation die Kette unterbricht.

Von besonderem Interesse, auch in praktischer Hinsicht, ist die Ausscheidung der Metalle aus ihren Lösungen. Wir erwähnen zunächst die Metallvegetationen. Wenn man in eine Lösung von Bleizucker (6 Quentchen essigsaures Bleioxyd in ½ Quart destillirtem Wasser) einen Zinkstab stellt, so zieht dieser den Sauerstoff an und das Blei scheidet sich in glänzenden Blättern ab, die den sogen. Saturnusbaum bilden. — Thut man in eine Lösung von salpetersaurem Silber einige Tropfen Quecksilber, so bildet sich ein prächtiger Silber- oder Dianenbaum. Ueberhaupt werden Metalle, welche in der Spannungsreihe dem positiven Pole näher liegen, durch solche, die dem negativen näher sind, aus ihren Auflösungen geschieden. — Wenn man die Metalllösung in

flache Gläschen mit parallelen ebenen Wänden bringt, in sie die Poldrähte leitet und nun zur Vergrößerung ein Sonnenmikroskop anwendet; so kann man die höchst interessante Bildung der Metallvegetation durch das Anschießen der kleinsten Theilchen wahrnehmen.

Die Galvanoplastik im weiteren Sinne aber ist es ganz vorzüglich, welche durch ihren vielseitigen Nutzen im praktischen Leben unsere Aufmerksamkeit verdient. Man benutzt nämlich die zersetzende Wirkung der galvanischen Elektrizität einer in ihrer Thätigkeit sich gleichbleibenden Kette, um das in metallischen Lösungen enthaltene Metall nicht pulverförmig, sondern als einen außerordentlich feinkörnigen, fest zusammenhängenden Ueberzug auf andere Körper niederzuschlagen. Man kann diese metallischen Ueberzüge entweder auf den Körpern lassen, um ihnen dadurch ein gefälliges Aussehen zu verleihen und sie gegen frühere Zerstörung zu schützen, oder man kann diesen Ueberzug ablösen und dann gibt er mit der wunderbarsten Treue alle Formen der Körper wieder, auf welche der Niederschlag gemacht worden ist. Wir können hierbei wesentlich einen vierfachen Zweck im Auge haben:

1) metallisch-plastische Abdrücke der verschiedensten Art herzustellen, und dies ist die Galvanoplastik im engeren Sinne;
2) Gegenstände mit einer mehr oder weniger dicken Metallhaut zu überziehen, was man Metallplattirung nennt;
3) durch zarte Metallniederschläge Farben zu erzeugen, die Metallochromie;
4) Schriften und Zeichnungen zur Vervielfältigung hervorzubringen, was man Galvanographik oder Elektrotypie genannt hat.

Wir können hier nur das Wichtigste davon anführen, indem die ins Einzelne gehenden Anweisungen in ein technologisches Werk gehören. In allen Fällen ist zur Erzeugung recht zarter Niederschläge eine langsam und gleichmäßig wirkende Kette erforderlich und daher die daniellsche geeigneter, als die von Grove. In allen Fällen lagert sich aus der Auflösung des Metallsalzes das regulinische Metall am negativen Pole ab und an den positiven gelangt der Sauerstoff und die Säuren. Ist an dem positiven Pole ein oxydirbares Metall, wie Zink, Blei, Zinn, Kupfer; so entweicht der Sauerstoff nicht als Gas, sondern verbindet sich mit dem Metalle zu einem Oxyde. Immer wird sich, man mag eine Kette anwenden, welche man will, eine bestimmte Menge Metall am positiven Pole aufgelöst haben, wenn sich am negativen in der Zersetzungszelle eine bestimmte Menge Metall abgelagert hat.

1) Die Galvanoplastik. Zu plastischen Darstellungen ist das Kupfer wegen seiner Geschmeidigkeit, großen Dichte und Billigkeit ganz vorzüglich brauchbar. Man verwendet dazu eine Verbindung von Kupferoxyd mit Schwefelsäure, d. i. Kupfervitriol, dessen Krystalle man in so vielem destillirten Wasser auflöst, daß die Dichtigkeit der Lösung während der Operation sich zwischen 24° und 34° nach dem Aräometer

von Baumé hält, was man theils durch Zugießen von Wasser, theils durch Hineinbringen von Krystallen regeln kann. Als sehr geeignet wird auch eine Mischung aus 2 Maßtheilen gesättigter Kupfervitriollösung mit 1 Maßtheile einer Auflösung von Kupfervitriol in einer gesättigten Lösung von Glaubersalz oder Zinkvitriol angesehen.

Der Kupferniederschlag kann entweder in der Kette selbst erzeugt werden und dann muß man die Flüssigkeiten in dem für die Erregung der Elektrizität und die Bildung des Niederschlages erforderlichen Zustande zu erhalten suchen oder man bewirkt ihn in einem besonderen Zersetzungsgefäße außerhalb der Kette.

Soll ein Gegenstand, z. B. eine Münze, nachgebildet werden, so muß man sich zuerst eine Matrize verschaffen, d. h. eine Form, in welcher die Erhabenheiten des Gegenstandes vertieft und die Vertiefungen erhaben sind. Sie kann aus Kupfer hergestellt werden und gibt dann mit wunderbarer Schärfe die feinsten Linien wieder, oder aus einem anderen nicht leitenden Materiale, wie Papier, Wachs, Stearin, Harzmischungen, Gyps und Guttapercha, welche zu Statuen, Reliefs, Holzschnitten und anderen Drucksachen verwendet werden. Die aus letzteren Stoffen angefertigten Matrizen macht man dadurch leitend, daß man sie mit ganz gutem englischen, silbergrauen Graphit (aus der Grube von Borrowdale in Cumberland) zart überzieht. Diese Darstellungen sind für die bildenden Künste von der größten Wichtigkeit.

Zur Darstellung einer Münze legt man um ihren Rand, nachdem sie gut gereinigt worden ist, einen Leitungsdraht und überzieht ihn äußerlich mit Wachs. Durch die Kette erhält man dann von beiden Seiten treue Abdrücke, welche man ablöst und auf gleiche Weise in Betreff ihrer Innenseite behandelt, um dadurch die beiden Seiten der Münze in ihrer wirklichen Beschaffenheit zu erhalten und diese dann durch Zusammenlöthen der Ränder und Ausfüllung des Zwischenraumes zu einem Ganzen zu verbinden.

Wenn auch zur galvanoplastischen Ablagerung das Prinzip der daniellschen Kette angewendet wird, so ist doch die Einrichtung dem jedesmaligen Zwecke entsprechend zu machen. Für größere Gegenstände nimmt man einen angemessen geformten Kasten aus Glas, Thon oder Holz zu dem Kupfervitriol, in ihn hängt man einen kleineren kastenförmigen Holzrahmen, den man auf der unteren Seite mit Pergament, Fischblase oder auch Pappe überzieht; in den kleineren Kasten kommt die verdünnte Schwefelsäure und eine gegossene Zinkplatte und unter den Rahmen in die Kupfervitriollösung die Matrize. Zinkplatte und Matrize werden durch einen mit Firniß überzogenen Kupferstreifen verbunden und müssen ziemlich gleiche Oberflächen haben.

Geschieht die Ablagerung des Kupfers in der Kette selbst, so ändert sich nicht nur der Sättigungsgrad der Kupfervitriollösung fortwährend, sondern sie nimmt auch durch die poröse Scheidewand Zinkvitriol

auf, wodurch die Zurückführung auf ein vortheilhaftes Mischungsverhältniß erschwert wird. Demnach ist es angemessen, die Operation außerhalb der Kette in einer besonderen Zersetzungszelle mit Kupfervitriollösung vorzunehmen. Von den Polen der Kette gehen zwei starke, blanke und verschiebbare Kupferdrähte an die Zelle, der vom positiven Pole trägt eine starke Kupferscheibe, der andere das zu überziehende Modell, gegenüber der Scheibe; an dem Kupfer lagert sich der Sauerstoff ab, welcher mit einer gewissen Menge desselben Oxyd bildet, an jenem ebensoviel Kupfer. Dadurch behält die Kupferlösung dieselbe Zusammensetzung. — Wenn Gypsformen zur Herstellung von Statuen Höhlungen (Kopf, Arme, Beine) darbieten, so müssen in diese vom positiven Pole aus besondere Kupferdrähte geleitet und überhaupt darauf gesehen werden, daß die Kupferplatte sich möglichst der abzubildenden Form nähere. Im Allgemeinen muß die Oberfläche des Zinks in der Kette gleich sein der Oberfläche des abzubildenden Gegenstandes.

Zu kleinen Arbeiten genügt ein daniellsches Element; zu größeren nimmt man entweder eine Batterie oder eine Kettensäule oder verbindet Batterien zu einer Säule, jenachdem man sparsam oder schnell arbeiten will. Der Widerstand in der Zersetzungszelle soll ebenso groß sein, wie in der Kette. Er nimmt ab mit zunehmender Größe der Platten und mit abnehmender Entfernung. Darnach läßt sich die Art der Zusammensetzung der Ketten ermessen, wenn man noch berücksichtigt, daß in ihnen die Thonzellen den Widerstand zwei- bis dreimal größer machen, als er in dem Zersetzungsgefäße ohne Zelle ist.

2) Die galvanische Metallplattirung. Die früheren Methoden, unedle Metalle mit einem Ueberzuge von edlen, wie Gold, Silber, Platina, zu überziehen, verlangten einen ziemlich großen Aufwand von kostbarem Materiale, es gelang nur schwierig oder unvollkommen den Ueberzug vollkommen gleichmäßig zu machen, die Arbeit war zeitraubend und wenn sie, wie bei der Vergoldung im Feuer, mit Benutzung von Quecksilber geschah, wegen der Quecksilberdämpfe für die Gesundheit nachtheilig. Bei der galvanischen Methode werden nicht nur diese Uebelstände vermieden, sondern man hat es auch vollkommen in seiner Gewalt, den Ueberzug dick oder dünn, hell oder dunkel gefärbt, glänzend oder matt zu machen und er ist überall dicht und fest und erstreckt sich auf die kleinsten Lücken gleichmäßig.

Damit der zu machende Ueberzug festsitze, muß die Oberfläche des Körpers vollkommen metallisch rein sein und darf nicht die geringste Oxydation zeigen oder mit fremden Körpern, z. B. Spuren der Hand, belegt sein. Für große Gegenstände oder ein schnelles Arbeiten wendet man Säulen bis zu sechs Ketten an, verbindet sie innerhalb einer geeigneten Auflösung des betreffenden Metalles stets mit dem negativen Pole der Säule und befestigt an dem positiven ein Blech entweder aus demselben Metalle, oder aus Platin, welches man dem Gegenstande

mehr oder weniger nähern kann, jenachdem die Wirkung vermehrt oder vermindert werden soll, wozu man an der Lebhaftigkeit der Wasserstoffentwickelung am Gegenstande einigermaßen einen Maßstab hat.

In jenem Falle löst sich von dem Bleche ebensoviel Metall auf, als sich am Gegenstande niederschlägt, so daß die Auflösung stets ihren Sättigungsgrad behält, in diesem muß sie nach und nach ergänzt werden. — Die verschiedene Färbung des Niederschlages hängt von der Stärke des Stromes, von der Dicke der Schicht und der Methode der Auflösung ab. Man kann glatt und matt oder körnig vergolden. — Sollen einzelne Stellen nicht überzogen werden, so versieht man sie mit einem nicht leitenden Deckgrunde.

Man kann sich statt der galvanischen Ketten oder Säulen auch eines magnetoelektrischen Rotationsapparates, wovon wir später sprechen werden, mit gleichem Erfolge bedienen, nur daß hier die Molekularbewegung bei dem Verbrauche von Zink und Säure durch mechanische Arbeit beim Drehen ersetzt wird.

3) Die Metallochromie. Wir kennen bereits die schönen Farbenerscheinungen, welche ganz dünne Schichten eines Körpers darbieten (Bd. II. S. 75, 95). Da man es nun in seiner Gewalt hat, metallische Niederschläge von beliebiger Stärke zu bilden, so kommt es nur noch darauf an, die geeigneten Körper ausfindig zu machen, um auch hier Farben zu erhalten. Kleine Farbenringe erhält man, wenn man mit dem einen Pole eine Silberplatte verbindet, auf sie einige Tropfen von essigsaurem Blei-, Kupfer- oder Silberoxyd thut und in die Mitte die Spitze des anderen Poldrahtes bis an die Platte bringt. — Zu größeren Arbeiten bringt man in eine alkalische Lösung von Bleiglätte von 20 bis 22° Baumé das zu färbende Metall als positiven Pol und dann scheidet sich auf ihm Bleisuperoxyd in wasserfreiem Zustande wie ein zarter Hauch ab, dessen Farbe von der Dicke und dem angewendeten Metalle abhängt; am negativen Pole wird Blei ausgeschieden. Die Farbenfolge bei Gold ist: Orange, Dunkelorange, Perlgrau ins Grünliche, Goldgelb, schwach Roth, prismatisch Roth, Roth ins Violette, Bläulichgrau, schön Grün, Gelbroth, Weinroth, Violett, Dunkelgrün, Grün ins Rothe, Schwarz. — Auf Kupfer ist zwar dieselbe Farbenfolge, nicht aber mit einem gelblichen, sondern mit einem röthlichen Tone, wodurch sie lebhafter werden. — Auf Silber ist anfangs eine grünlich-gelbe Färbung, dann kommen Gelb, Roth, Blau, Grün und noch andere Farben, welche bald sehr dunkel werden. — Das Blei gibt den Farben einen blauen Ton und die blauen und grünlich-blauen Farben werden zu einem herrlichen Ultramarin. Zum Schutze gegen die Veränderungen der Farben durch die Luft überzieht man dieselben mit einem Firniß.

4) Die Elektrotypie enthält die Benutzung der galvanischen Elektrizität für Zwecke der Buch- und Kupferdruckerei, indem von Holz-

schnitten, Stahl- und Kupferplatten und von gravirten Gegenständen jeder Art Druckplatten auf galvanischem Wege hergestellt werden. Da in manchen Fällen dieser Art das Original einer besonderen Behandlung zu unterwerfen ist, hat man dafür verschiedene Benennungen eingeführt: Galvanographie, Glyphographie, Stilographie, galvanische Gravüre.

Die von Kobell in München erfundene Galvanographie macht die Anwendung eines Grabstichels überflüssig und läßt Bilder in der Art der Aquarellgemälde herstellen, wie sie der Künstler selbst auf eine silberplattirte Kupferplatte mit einer enkaustischen Farbe zeichnet, deren Bindemittel eine Auflösung von Wachs und etwas Dammerharz in Terpentinöl ist. Die blanken Stellen des Metalls geben die höchsten Lichter, die dickeren Farbenlagen je nach ihrer Dicke die dunkleren Stellen des durch den Kupferniederschlag erhaltenen Abdruckes.

Die Glyphographie ist von Palmer erfunden und von Ahner u. A. in Deutschland ausgebildet worden. Man überzieht eine geschwärzte polirte Kupferplatte mit einer möglichst dünnen wachsähnlichen Masse recht eben; darauf wird nach irgend einer Bausmethode das herzustellende Bild aufgetragen, mittelst besonders geformter Stahlnadeln das von den Linien der Zeichnung bedeckte Wachs bis auf den schwarzen Grund entfernt und endlich auf galvanischem Wege die Kupferschicht zu unmittelbarer Benutzung für den Abdruck hergestellt.

Die Stilographie ist von Schüler erfunden. Man stellt eine Platte aus einer Harzmasse (3 Thle. Schellack, 1 Thl. Stearin) recht eben her, gravirt in dieselbe die Zeichnung, macht ihre Oberfläche durch Silberbronze leitend, nimmt vou ihr eine galvanoplastische Matrize und fertigt von dieser die eigentliche Platte zum Drucken.

Bei der Galvanographüre wird die zu gravirende Kupferplatte mit dem positiven Pole der Kette innerhalb der Kupfervitriollösung verbunden und ihr als negativer Pol eine blanke Kupferplatte gegenüber gestellt. Die erstere ist mit Aetzgrund überzogen und nur an den bestimmten Stellen mit der Radirnadel blosgelegt, so daß sich dort das Kupfer auflöst, indem sich Kupferoxyd bildet und dieses in der freigewordenen Schwefelsäure aufgelöst wird. Das Verfahren ist also gewissermaßen das umgekehrte von der Galvanoplastik.

Zur Aetzung für Stahl wird eine Kochsalzlösung, für Silber aber schwefelsaures Natron genommen. Der zu ätzenden Platte kommt immer eine von demselben Metalle gegenüber.

Man hat auch eine Methode, welche man Elektrographie nennt, durch welche man auf rauhem Zink die Schriftzeichen erhaben erhält. Man schreibt oder zeichnet auf die Tafel mit fetter lithographischer Kreide oder Dinte, behandelt sie wie einen lithographirten Stein mit Gummiwasser, Terpentinöl und einem fettigen Firnisse, welcher auf der Zeichnung haftet, bringt sie in eine Kupfervitriollösung, stellt ihr nahe gegenüber eine gleichgroße Kupferplatte und verbindet beide Platten durch

einen Kupferdraht. Die Zeichnung erscheint dann in wenigen Minuten als Relief.

Endlich hat man in der Galvanophotographie eine sinnreiche Verbindung von Photographie und Galvanoplastik, um für den Kupferdruck geeignete Platten zur Vervielfältigung photographischer Bilder zu erhalten. Man löst nach den Angaben von Pretsch in 14 Unzen (1 Unze = 480 Gran) Wasser 4 Unzen Galatine auf, dann darin 24 Gran Jodkalium, 84 Gran salpetersaures Silberoxyd und 256 Gran zweifach chromsaures Kali. Eine reine fehlerfreie Glasplatte wird mit dieser Flüssigkeit überzogen und im Finstern getrocknet, dann bedeckt man damit ein photographisches positives Bild und setzt es dem Lichte aus. Dieses verändert das chromsaure Salz nur an den belichteten Stellen, während die Schatten des Originals es je nach ihrer Stärke weniger oder gar nicht angreifen. Wird dann die Glasplatte ins Wasser gethan, so weicht der Leim an den dunkeln Stellen des Bildes auf, schwillt an und bildet nach dem Trocknen entsprechende Erhabenheiten. Von dieser Platte macht man einen Guttaperchaabdruck, von ihm eine galvanoplastische Matrize und auch von dieser auf demselben Wege wieder einen Abdruck, welcher dann zur Vervielfältigung dient und recht gute Bilder gibt.

Die thierische Elektrizität. Wenn der bei den chemischen Thätigkeiten vorkommende Stoffwechsel, bei welchem Stoffe neue Verbindungen eingehen, wesentlich elektrischer Natur ist; so dürfen wir vermuthen, daß auch bei lebenden organischen Wesen, namentlich bei den für einen lebhaften Stoffwechsel eingerichteten Thieren die Elektrizität auch eine Rolle spielen werde. Freilich wird hier im Allgemeinen weniger von einer großen elektrischen Spannung und einer bedeutenden Wirkung nach außen die Rede sein, als von fortwährend thätigen Abgleichungen unendlich kleiner Ströme und nur in seltenen Fällen hat uns die Natur an Thieren einen Verstärkungsapparat gezeigt, welcher gleichsam das Sammelbehältniß für jene kleinen Thätigkeiten ist.

Es gibt nämlich mehre Gattungen von Fischen, welche die Fähigkeit besitzen, durch das Wasser so bedeutende elektrische Schläge zu ertheilen, daß sie dadurch andere, nicht nur kleinere Thiere, sondern sogar Pferde, welche in ihre Gesellschaft gerathen, zu tödten imstande sind. Merkwürdig ist dabei, daß sie selbst nicht getödtet werden, wie andere Fische, wenn man durch das Wasser, in welchem sie sich befinden, elektrische Schläge leitet. Führt man einen sogen. elektrischen Strom durch das Wasser, so nehmen sie gegen diesen eine ganz bestimmte Stellung ein, welche sie wahrscheinlich nicht nur vor einem unangenehmen Gefühle bewahrt, sondern ihnen sogar behaglich ist. Haben diese Fische eine Menge Schläge ertheilt, so werden sie matt und bedürfen einiger Zeit, um wieder in früherer Weise wirksam zu sein, grade wie bei einer trockenen Säule. Und in der That findet sich in diesen Thieren ein

ähnliches Organ, welches beim Zitteraal aus mehr als 400 rundlichen Säulchen besteht, von denen jedes aus (3 bis 4) Millionen Blättchen mit gallertartigen Zwischenräumen zusammengesetzt ist, wie eine Zellenkette, so daß das Ganze mit den hinter und nebeneinander geschichteten Plättchen eine Säulenbatterie bildet und zur Aufnahme einer bedeutenden elektrischen Spannung fähig ist, welche sich durch die Lebensthätigkeit des Thieres in allen Theilen seines Körpers entwickelt. Die Substanz der Plättchen ist die der Ganglienzellen im Hirn und Rückenmarke. — Die Richtung des Entladungsschlages ist senkrecht auf die Ebene der Plättchen.

Bei dem Zitterrochen (Torpedo) geht die positive Bewegung im Organe selbst vom Bauche zum Rücken, beim Welse (Silurus) vom Kopfe zum Schwanze, beim Aale (Gymnotus) vom Schwanze zum Kopfe, also im umgebenden Wasser oder einem metallischen Leitungsdrahte vom Kopfe zum Schwanze, beim Frosche von den Füßen zum Kopfe.

Man kann durch diese thierische Elektrizität alle früher angegebenen Wirkungen, wie das Licht, die Zersetzung des Wassers u. a. hervorbringen.

Es ist nachgewiesen, daß in den Muskeln und Nerven aller Thiere und auch des Menschen und selbst in den Theilen eines Muskels oder eines Nervs elektrische Bewegungen vorkommen. Der Nerv ist negativ, die Außenfläche des von ihm berührten Muskels positiv, also geht der positive Strom vom Muskel zum Nerven. Jeder Muskel allein ist schon als aus Molekeln mit den entgegengesetzten Elektrizitäten sehr regelmäßig zusammengesetzt anzusehen, so daß sogar bei einem Querschnitte desselben ein elektrischer Strom von einem äußeren Punkte nach einem mehr nach der Mitte liegenden und bei einem Längenschnitte von der Mitte zum Rande geht. Ein etwas stärkerer Strom geht von einer Stelle eines Längenschnittes zu einer eines Querschnittes, so daß an jenem die positiven, an diesem die negativen Elemente liegen. — Es ist ferner eine Thatsache, daß, wenn im Nerv der eine Empfindung (Schrecken, Freude) oder Bewegung vermittelnde Vorgang stattfindet, die elektrischen Bewegungen bestimmte Veränderungen erleiden; die Stromstärke wird durch willkürliche Zusammenziehung eines Muskels gesteigert und außerdem auch Wärme hervorgebracht; die Richtung des Stromes hängt von der Seite des Körpers ab, an welcher eine Muskelzusammenziehung geschieht. Die elektromotorische Kraft wächst mit der Länge und Dicke der Muskeln. Es ist nachgewiesen, daß selbst das Leuchten der Leuchtkäfer unter dem Einflusse ihres Willens und ihres Nervensystems steht und mit, wenn auch äußerst schwachen, elektrischen Erscheinungen verbunden ist

Wie einzelne Gliedmaßen zeigt auch der ganze menschliche Körper im gesunden Zustande freie positive Elektrizität, welche den Körper von

links nach rechts gewissermaßen umkreiset, wobei eigentlich die linke und vordere Seite (auch jedes Fingers) freie positive, die rechte und hintere freie negative Elektrizität zeigt, wenn man äußerst empfindliche Instrumente (Multiplikatoren) anwendet. — Da gleichgerichtete Ströme einander anziehen, so kann man das oft unwillkürliche und gewissermaßen behagliche Falten der Hände und Schränken der Beine vielleicht darauf zurückführen.

Physiologisches. Leben und Elektrizität sind unzertrennlich miteinander verknüpft und unser Organismus gibt uns nur dann die Empfindung des Wohlbefindens, wenn in ihm ein gewisses elektrisches Gleichgewicht vorhanden ist. — Von zwei nur noch mittelst der Nerven am übrigen Körper hängenden Froschschenkeln magert der eine schnell ab, wenn er sich selbst überlassen ist, der andere aber behält noch lange seine Gestalt und vegetirt fort, wenn man ihn täglich elektrisirt. Daraus ergibt sich offenbar, daß auch die Ernährung unseres ganzen Körpers leidet, wenn seine elektrische Thätigkeit gelähmt ist. Dieses kann, glaube ich, auch durch lange anhaltende und einseitige elektrische Einflüsse der Atmosphäre geschehen.

Wenn das Haarfell mancher Thiere, wie der Katzen und Hunde, durch Streicheln statische oder Spannungselektrizität mit Funken zeigt, so ist dieses nicht eine Folge des thierisch-organischen Lebens, sondern nur der mechanischen Bewegung, welche allerdings bisweilen sehr auffallende Resultate erzielen läßt. Ich habe z. B. im Sommer bei trockener Luft an einem zahmen Rehe durch wenige sanfte Striche selbst am Tage lebhafte Funken mit sehr deutlichem Knistern erhalten.

So wie der lebende Organismus selbst eine Quelle von Elektrizität ist, welche sich als solche in äußeren Erscheinungen geltend macht, ebenso kann umgekehrt die außerhalb des organischen Körpers entwickelte Elektrizität auf diesen übergeführt werden und zeigt selbst noch einige Zeit nach dem Absterben desselben seine Wirkungen.

Wenn wir einem Freunde die Hand drücken, entwickelt sich ein elektrischer Strom, ja selbst schon, wenn wir einen Finger krümmen. Hält man z. B. die beiden Zeigefinger grade gemacht in ein Gefäß mit angesäuertem Wasser, in welchem sich die Enden eines Leitungsdrahtes mit einem Widerstande von mehren hundert Meilen Telegraphendraht befinden, so zeigt sich in diesem keine Elektrizität; sowie man aber den einen Finger mit einer gewissen Muskelanstrengung krümmt, so erscheint sie. — Umgekehrt aber kann man sowohl an dem lebenden, als auch an dem soeben abgestorbenen Körper alle beliebigen Muskelbewegungen, selbst wider den Willen des Lebenden hervorbringen, wenn man nur die Poldrähte einer geschlossenen Säule an die richtigen durch die Anatomie uns angezeigten Stellen legt. Es ist ein wahrhaft Entsetzen erregender Anblick, nicht nur in dem Gesichte einer Leiche die Ausdrücke aller Gemüthsbewegungen, sondern auch am ganzen Körper die heftigsten

Zuckungen hervorgebracht, ja selbst das Stimmorgan wie durch einen Zauber in Thätigkeit gesetzt wahrzunehmen.

Da die Elektrizität chemische Zersetzungen bewirkt, so ist es auch natürlich, daß sie auf unseren Geschmack und Geruch wirkt, indem sie die Feuchtigkeiten der Schleimhäute zersetzt. Bringt man also einen Kupferstreifen und einen Zinkstreifen, den einen unter, den anderen über die Zunge und äußerlich mit einander in Berührung, so empfindet man einen säuerlichen und brennenden Geschmack. Läßt man auf die Zunge nur ein Metall einwirken, indem man in der Nähe ihrer Spitze auf oder unter sie und an das Zahnfleisch oder eine andere Stelle des Körpers das andere Metall legt, so gibt beim Schließen der Kette das positive Metall einen säuerlichen, das negative einen alkalischen (laugenhaften) Geschmack. — Daher schmeckt Wein, aus einem Metallgefäße getrunken, anders, als aus einem Glase und Wasser bekommt aus einem zinnernen Becher auf einer Silberplatte, welche man mit der feuchten Hand berührt, einen Beigeschmack. — Der positive Pol bewirkt in der Nase einen säuerlichen Geruch und der negative reizt zum Niesen.

Auch subjektive Lichterscheinungen, welche eine Folge der in Schwingungen versetzten Nervenhaut des Auges sind, können leicht hervorgebracht werden, wenn man eine befeuchtete Silberplatte auf das Augenlid des geschlossenen Auges und eine Zinkplatte an das Zahnfleisch legt oder in die feuchte Hand nimmt und die beiden Metalle äußerlich in Berührung bringt. Durch eine größere Kette oder Säule wird die Erscheinung natürlich stärker.

Da, wie wir bereits wissen, die Empfindung des Lichtes unabhängig ist von einer äußerlichen Lichtquelle und nur durch die Schwingungen der Nervenhautstäbchen hervorgebracht ist, so muß die Schwingungszahl der elektrischen Bewegungen, welche hier unmittelbar auf das Gesichtsorgan einwirken, mindestens ebensogroß sein, als beim Lichte. Ja der Umstand, daß das unsichtbare ultraviolette Licht, zu welchem mehr Schwingungen, als zum Violett gehören, ebenfalls chemisch wirkt und zwar durch seine Schwingungen, wie die Elektrizität, möchte die Behauptung rechtfertigen,

> daß zur Elektrizität eine größere Schwingungszahl gehört, als selbst zum Lichte.

Auch auf das Gehör wirkt die elektrische Bewegung, denn bringt man in das eine feucht gemachte Ohr den einen Poldraht und ergreift man den anderen mit nasser Hand, so hört man ein eigenthümliches Summen.

Endlich sind die auch durch die dynamische Elektrizität erhaltenen Erschütterungen wichtig. Bei der Abgleichung der statischen Elektrizität erfolgte nur ein Schlag, welcher uns vorzüglich an den Stellen, wo die einzelnen Glieder aneinandergefügt sind, empfindlich ist, weil dort neue Uebergänge behufs der weiteren Leitung nothwendig sind. Bei

der dynamischen Elektrizität aber wechseln Ladung und Entladung in rascher Aufeinanderfolge. Je nach der Beschaffenheit der Elektromotoren, der Ausdehnung der Kette oder Säule und der Leitungsfähigkeit des Schließungsbogens sind diese Schläge und Erschütterungen sehr verschieden. Wählt man induzirte Elektrizität, so hat man selbst für einen bestimmten Induktorapparat die Stärke dieser Wirkungen ganz in seiner Gewalt, was für medizinische Zwecke besonders wichtig ist.

Wenn man bei einem soeben getödteten Frosche an einem Schenkel Muskel und Nerv bloßlegt, den einen mit Kupfer, den anderen mit Zink berührt und nun die Kette schließt; so geräth der Schenkel in die heftigsten Zuckungen, weil durch ihn die elektrische Bewegung geht. Baut man eine Säule und berührt man mit einem nassen Finger jeder Hand die beiden Pole, so empfindet man um so heftigere Erschütterungen, je mehr Glieder die Kette hat, die Größe der Platten ist aber ohne Einfluß. Man kann die Wirkung auf den Körper bei einer bestimmten Säule aber dadurch verstärken, daß man an die Poldrähte metallene Zylinder anbringt und diese mit den ganzen durch angesäuertes Wasser naß gemachten Händen erfaßt. Man kann auch die Poldrähte in ein Becken mit gesäuertem Wasser leiten und in dieses die Hände flach legen. — Trockene Konduktoren erregen die Haut schmerzhaft und bringen namentlich an Wunden ein Brennen hervor; feuchte Schwämme thun dies viel weniger und erregen doch die darunter liegenden Muskeln und Nerven bedeutend; auch wenn sich die Konduktoren in eine Art Bürste endigen, ist die Wirkung kräftiger. — Die Leitungsfähigkeit der verschiedenen Theile des Körpers ist verschieden: die Nerven leiten schlechter, als die Muskeln; aber besser, als die Knochen. — Bei sehr reizbaren Menschen bewirken selbst dieselben Metalle, wenn sie nur sonst eine Verschiedenheit darbieten, schon Zuckungen. Auch manche Thiere sind sehr empfindlich: berührt z. B. ein Blutegel auf einer Zinkplatte eine daraufliegende Silbermünze, so fährt er erschrocken zurück. Wenn man Doppelringe aus zwei verschiedenen Metallen um Bäume legt, so kriechen Raupen darüber nicht weg.

Es dürfte nach dem Gesagten wohl nicht schwierig sein, zu erkennen, daß die Benutzung der Elektrizität zu medizinischen Zwecken nicht zu den bloßen Hirngespinsten gehört. Freilich kommt es nicht blos darauf an, sie schlechtweg anzuwenden, sondern vorzüglich auf die Wahl der Art von elektrischen Strömen, auf ihre Richtung und Stärke, auf die Stellen, welche mit den Polen in Verbindung zu bringen sind, und auf die Krankheitsformen. Es gehören zu einer richtigen Erkenntniß nicht blos physikalische, sondern auch genaue anatomische und physiologische, die Bedingungen des Stoffwechsels aufklärende Kenntnisse. Es ist also auch kein Wunder, wenn die Anwendung von elektrischen Kuren bisweilen nicht nur keine, sondern sogar nachtheilige Folgen gehabt hat und daß es leider noch nicht viele Aerzte gibt, denen man sich

in dieser Beziehung ohne Besorgniß anvertrauen darf. Auf Gymnasien kann ja die Physik bekanntlich nur höchst oberflächlich gelehrt werden und aus Realschulen gehen Aerzte selten hervor. — Ebenso unschädlich als unwirksam sind freilich so manche feilgebotene, angeblich durch Elektrizität wirkende Mittel. Aber das ist doch nicht zu leugnen, daß die Elektrizität auf unsere Nerven und durch sie auf den Stoffumsatz, auf die Empfindung und Bewegung wirkt. Sie erhält die Ernährung der Muskeln aufrecht, wie wir sogar schon an dem Froschpräparate erkannt haben, oder sie stellt ihre unterdrückte willkürliche Bewegung wieder her.

Die Krankheitsformen, in denen die Elektrizität in ihrer richtigen Anwendung Hilfe bringen kann, sind demnach ziemlich verschieden: sie kann entzündliche Ausschwitzungen, rheumatische Schwielen u. a. durch Einleitung der Resorption krankhafter Neubildungen verhindern, sie kann Gesichtsreißen, Zahn- und Kopfschmerzen, rheumatische Schmerzen, das Bröckeln in den Gliedern beseitigen, Empfindungslosigkeit aufheben, Muskelkrämpfe stillen, Lähmungen von willkürlichen und unwillkürlichen Muskeln in die normale Thätigkeit verwandeln, ja sogar Scheintodte ins Leben zurückrufen durch ihren kräftigen Reiz auf die Empfindungsnerven und die Thätigkeit der Athmungsmuskeln.

Fünfter Abschnitt.

Vom Magnetismus.

Man findet an sehr verschiedenen Orten der Erde ein bräunlichschwarzes Eisenerz, welches die merkwürdige Eigenschaft besitzt, nachdem es von seinem Fundorte an die Erdoberfläche gebracht worden ist, leicht bewegliche Eisenstückchen, namentlich frische Eisenfeilspäne anzuziehen und dieselben festzuhalten. Wälzt man ein Stück solchen Eisenerzes in den Eisenfeilspänen herum, so setzen diese sich in ganz besonderer Menge an zwei einander gegenüber liegenden Stellen an. Solches Erz wird Magneteisenstein und die Kraft, zufolge welcher es diese Anziehung äußert, Magnetismus genannt.

Hängt man einen solchen Magneteisenstein an einem Faden frei auf und ist in seiner Nähe Eisen nicht vorhanden, so nimmt er nach einigen Schwankungen eine feste und solche Lage an, daß von den beiden Stellen der stärksten Anziehung die eine ziemlich nach Norden und die andere nach Süden liegt. Aus diesem Grunde nennt man jene den Nordpol, diese den Südpol. Statt den Stein aufzuhängen, kann man ihn auf Quecksilber legen oder auf Wasser mittelst eines Brettchens,

Uhrglases u. dergl. schwimmen lassen. — Man kann die Polstellen auch dadurch auffinden, daß man ein kleines aufgehängtes Eisenkügelchen verschiedenen Stellen desselben nähert; wo es am weitesten und stärksten angezogen wird, dort sind die Pole.

Legt man um die beiden Polstellen des Steines zwei sich gut anschließende dünne Platten aus weichem Eisen, wobei jede in ein vierkantiges kleines massives Füßchen auslauft; so zeigt sich die anziehende Kraft jetzt in einem viel auffälligeren Grade an diesen Polfüßen. Man sagt dann: der Magnetstein ist bewaffnet oder armirt; er trägt eine Armatur, die man mit Messingbändern an ihm befestigt.

Es zeigt sich, daß der Magnet auf die Entfernung und zwar nach dem früher (Bd. I. S. 57) angegebenen allgemeinen Gesetze wirkt, sowohl im luftleeren Raume, als auch durch die Luft und die anderen Körper, wie Holz, Papier, Glas u. s. w. Nur Eisen schwächt diese Wirkung, weil es selbst auch am Magnetismus theilnimmt. Die Arbeiter in den Nadelfabriken können sich daher vor dem nachtheiligen Einflusse der in der Luft schwebenden äußerst zarten Eisen- und Stahltheilchen durch Magnete, welche in der Nähe des Gesichtes und anderwärts angebracht sind, schützen.

Aber nicht blos von einem solchen Magneten werden Eisen und eisenhaltige Körper, wie es z. B. mit Messing, Röthel, Wasserblei und Bolus der Fall ist, angezogen, sondern auch von Nickel, Kobalt, Chrom u. a, so daß diese Körper ebenfalls magnetische Eigenschaften haben, wenn auch in einem geringeren Grade.

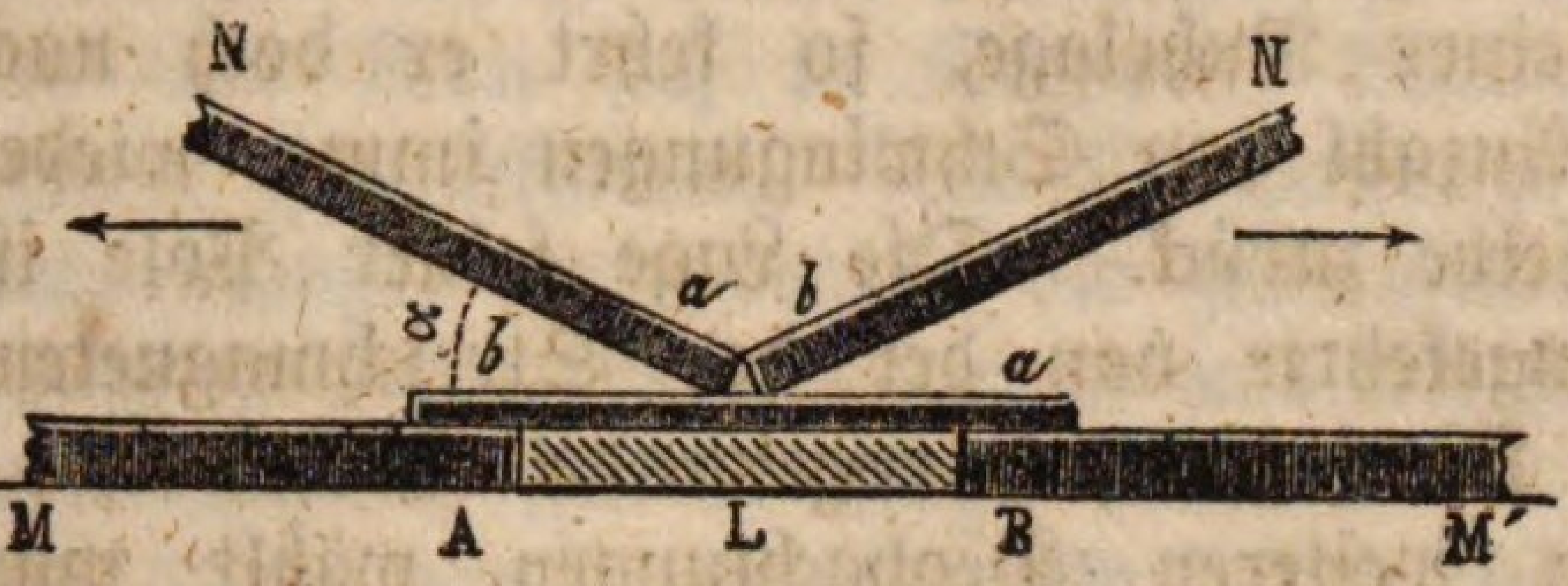
Das Magnetisiren. Läßt man durch den einen Pol eines natürlichen Magneten ein kurzes Stäbchen von weichem Eisen anziehen, so zeigt auch dieses, wie lange es in Berührung oder dem Magneten nahe genug ist, Magnetismus, denn es zieht ebenfalls Eisenfeile an; aber es verliert diesen Magnetismus, wenn man es von dem Magneten hinreichend weit entfernt, vollkommen. Nimmt man aber statt des weichen Eisens ein ebenso großes Stäbchen von glashartem Stahle, so zeigt es während der Berührung wohl auch Magnetismus, aber einen schwächeren und, wenn man es längere Zeit in Berührung gelassen hat, so behält es denselben sogar auf die Dauer. Er ist um so stärker, je längere Zeit die Berührung dauerte. Der Stahlstab ist auf diese Weise magnetisirt.

Man kann aber mittelst desselben natürlichen Magneten eine beliebige Menge von Stahlstäben zu stärkeren und bleibenden künstlichen Magneten machen und auch diese wieder in gleicher Weise verwenden, wenn man die Stäbe mit den Polfüßen des natürlichen oder künstlichen Magneten reibt oder bestreicht. Die Methode kann verschieden sein:

1) Der einfache Strich besteht darin, daß man jede Hälfte des Stahlstabes von der Mitte aus nach den Enden nacheinander mit den beiden Polfüßen des Magneten, und zwar die eine mit dem einen, die

andere mit dem anderen gleich oft bestreicht, indem man dabei etwas über das Ende hinausfährt und immer wieder in der Mitte aufsetzt.

2) Der getrennte Strich. Hat man sich zwei gleiche Magnetstäbe verschafft, so kann man sich leicht durch sie eine beliebige Menge anderer anfertigen. Noch besser aber ist es, vier Magnete anzuwenden, um einen fünften und andere zu erhalten. In Fig. 396 ist ab der zu magnetisirende Stahlstab. — Man legt ihn mit seiner Mitte auf einen etwas kürzeren Holzstab L, an die beiden Enden des letzteren schließen sich zwei Magnetstäbe AM und BM′ so, daß die Enden des Stahlstabes auf entgegengesetzten Polen derselben ruhen. Nun nimmt man zwei andere Magnetstäbe aN und bN′, setzt diejenigen zwei Polenden a und b, welche mit denen der untergelegten A und B gleichnamig sind, zu beiden Seiten der Mitte auf und streicht nun, indem man sie etwa unter einem Winkel von 45° = α festhält in der Richtung der beiden Pfeile nach den beiden Enden a und b, etwas darüber hinaus und in einem Bogen in die alte Lage zurück, um dasselbe Verfahren noch mehrmals zu wiederholen. — Die Lage der Pole des erhaltenen Magneten ist auch hier die umgekehrte von der zur Streichung der beiden Hälften angewendeten. Die untergelegten Magneten unterstützen die Streichmagneten, mit welchen mehr gestrichen werden müßte, wenn jene nicht vorhanden wären.



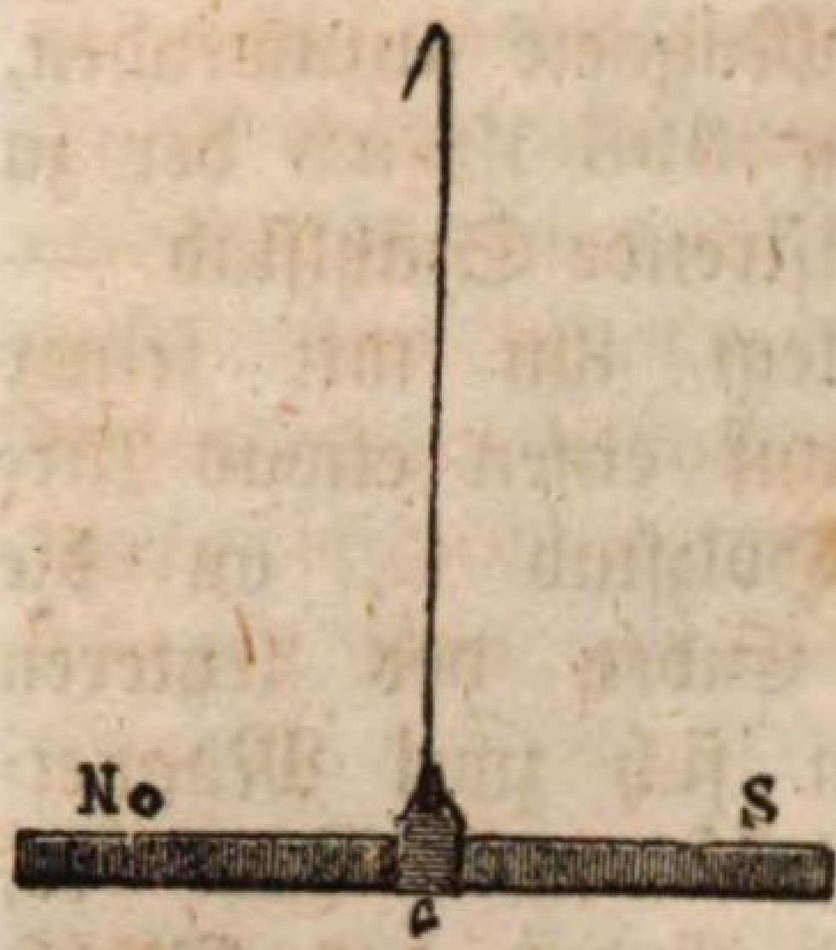
(Fig. 396.)

3) Bei dem Doppelstriche setzt man grade so auf, wie bei dem getrennten, aber man führt die beiden Streichmagnete ohne sie zu trennen, unter einem kleineren Winkel von etwa 15° abwechselnd bis an das eine und das andere Ende des Stabes und sorgt dafür, daß beide Hälften gleich oft bestrichen werden, hebt also wieder in der Mitte ab. Man erhält zwar dadurch schneller stärkere Magnete, aber die beiden Pole sind ungleich kräftig.

4) Beim Kreisstriche, welcher ganz besonders wirksam ist, legt man vier Stahlstäbe zu einem rechtwinkligen Parallelogramme zusammen und führt von zwei Magneten ungleichnamige Pole wiederholt und gleichzeitig ringsum über die Stäbe, von denen zwei gegenüber liegende auch Magnete sein können, welche man mit den ungleichnamigen Polen nach derselben Richtung gelegt hat.

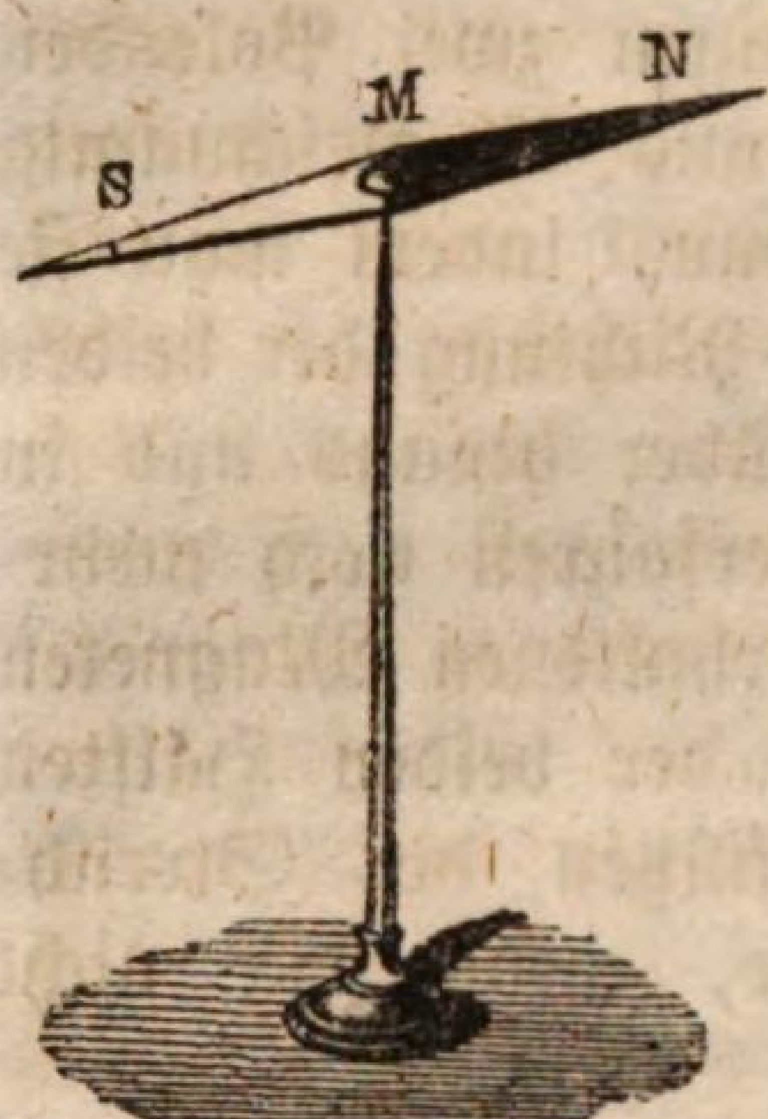
Einen vorhandenen Magneten kann man entmagnetisiren, wenn man ihn mit einem Magneten so streicht, daß die Polarität von jenem die umgekehrte werden würde, wenn man das Streichen lange genug fortsetzte.

Jeder Stahlstab ist durch solches Streichen zu einem Magneten geworden, welcher, wenn er sich frei bewegen kann, ebenso eine bestimmte und, was die Polrichtung anlangt, dieselbe Stellung annimmt, wie der natürliche Magnet. Man kann zu diesem Zwecke den Magnetstab, wie es Fig. 397 darstellt, in einer an einem Faden hängenden Papierhülse c in eine horizontale Lage bringen. Bringt man den Magnetstab aus seiner Ruhelage, so kehrt er doch nach einer Anzahl von Schwingungen immer wieder in dieselbe zurück. Die Lage seiner Pole ist die umgekehrte von der des Streichmagneten, welche Methode auch angewendet worden ist.



(Fig. 397.)

Zu weiteren Beobachtungen wählt man einen leichteren und bequemer angebrachten Magneten, nämlich eine sogen. **Magnetnadel**, wie sie Fig. 398 zeigt. Es ist ein magnetisirter Stahlstreifen von der Form eines sehr verschobenen Rhombus, welcher mittelst eines etwas vertieften Achathütchens M auf einer feinen, durch einen Ständer getragenen Spitze so ruht, daß sie in einer horizontalen Ebene sich leicht und frei bewegen kann. Auch sie nimmt dieselbe bestimmte Stellung an, mit ihren beiden Polen nach denselben Richtungen hinweisend.



(Fig. 398.)

Wenn man durch die Axe der Magnetnadel sich die auf dem Horizonte lothrechte Ebene gelegt denkt, so heißt sie der **magnetische Meridian**. Dieser Meridian hat gegen den astronomischen für jeden Ort der Erdoberfläche auf ziemlich lange Zeit (einige Jahre) eine sich ziemlich gleichbleibende Lage. Für manche Orte fallen beide zusammen, für die meisten bilden sie einen Winkel, welcher die **magnetische Abweichung** oder **Deklination** heißt. Sie beträgt in Deutschland gegen 16°. Wenn man die Deklination an einem Orte weiß, so kann man sich mit Hilfe einer horizontal leicht beweglichen Magnetnadel, welche dann **Deklinationsnadel** heißt, leicht **orientiren**, d. h. die Weltgegenden oder Himmelsgegenden angeben. Das dazu besonders eingerichtete Instrument heißt **Kompaß** und besteht aus einer kreisförmigen, mit einer Glasscheibe bedeckten Kapsel, auf deren Boden am Kreisumfange die Haupt- und Nebenweltgegenden bezeichnet sind und in deren Mitte auf einer Spitze die Magnetnadel ruht. Weiß man für den betreffenden Ort die westliche oder östliche Abweichung in Graden, so läßt man zuerst die Nadel über der Nordsüdlinie zur Ruhe kommen und dreht dann die Kapsel unter der stehenbleibenden Nadel um ebensoviele Grade beziehungsweise nach Osten und Westen. Die verschiedenen

Orientirungsstriche zeigen dann die Weltgegenden richtig an. — Will man einen Kompaß nicht zu weiteren Reisen, sondern nur für die nicht allzuentfernte Umgegend eines Ortes benutzen; so klebt oder befestigt man der Bequemlichkeit wegen die Magnetnadel unter dem betreffenden Deklinationswinkel an die untere Seite einer eingetheilten Kreisscheibe, so daß diese sammt der Nadel sich auf einer in der Mitte der Kapsel angebrachten Spitze dreht. Schwebt sie in Ruhe, so ist man auch orientirt und kann sich in Steppen, Wäldern und überhaupt auf Reisen leichter zurechtfinden. Die Kompasse zu Seereisen haben noch andere Einrichtungen und ebenso die zum Feldmessen dienenden Boussolen, welche genauer Kreistheilungen und der Dioptern bedürfen, weil sie noch zum Winkelmessen u. dergl. dienen.

Hat man einen Stahlstab vor seiner Magnetisirung genau über seinem Schwerpunkt aufgehangen, so hängt er horizontal; magnetisirt man ihn und hängt ihn wieder ebenso auf, so stellt er nur an wenigen Orten der Erde sich wieder horizontal, an den meisten senkt sich einer der beiden Pole, so daß der Stab (oder die Nadel), indem er in dem magnetischen Meridiane sich befindet, mit dem Horizonte einen Winkel macht, welcher die magnetische Neigung oder Inklination heißt. In Deutschland beträgt dieser Winkel gegen 70°. Statt den Stab aufzuhängen, kann man durch seinen physischen oder materiellen Schwerpunkt eine kleine Axe fest gehen lassen und diese horizontal und lothrecht auf den magnetischen Meridian stellen, damit der Stab sich in seiner Ebene auf- und abwärts bewegen und die Lage annehmen kann, welche er frei beweglich annehmen will.

Gesetz der Anziehung und Abstoßung. Hat man zwei gleich große und möglichst gleich stark magnetisirte Nadeln, von denen die eine frei schwebt und hält man ihrem Nordpole den Nordpol der anderen Nadel oder ihrem Südpole den Südpol der zweiten entgegen; so flieht jeder Pol der beweglich angebrachten Nadel vor dem mit ihm gleichnamigen. Bringt man aber dem Nordpole der ersten den Südpol der zweiten oder dem Südpole der ersten den Nordpol der zweiten nahe, so zeigt sich ein begieriges Streben der Anziehung und die Nadeln haften lebhaft aneinander, wenn diese Pole zur Berührung gebracht sind. Diese Beobachtung zeigt sich unter allen Umständen und gibt also das Gesetz:

> gleichnamige Magnetismen stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

Nicht nur also blos dadurch, daß bei einer bestimmten Magnetnadel stets dasselbe Ende nur nach Norden, das andere nur nach Süden hinweiset, sondern dadurch, daß ein bestimmter Pol eines Magneten von einem zweiten Magneten den einen Pol anzieht und den anderen abstößt, ist unwiderleglich festgestellt, daß in jedem einzelnen Magneten zwei entgegengesetzte Kräfte vorhanden sind. Es wird, wie bei

der Elektrizität, angemessen sein, von diesen beiden Kräften die eine, an sich gleichgiltig welche, positiv, die andere negativ zu nennen und mit +M und —M zu bezeichnen. Die in dem Nordende der Nadel hervortretende Kraft mag +M, die im Südende —M sein.

Gesetz der magnetischen Vertheilung. Nähert man dem Ende eines Magnetstabes, welches +M besitzt, ein Stäbchen von weichem Eisen, so zieht letzteres an seinem entfernteren Ende um so mehr Eisenfeile an, je näher es dem Magneten ist und also bei der Berührung am meisten. Entfernt man das Stäbchen allmählig, so läßt es die Eisenfeile nach und nach fallen, bis es endlich gar keine mehr trägt. Also: das Eisenstäbchen ist durch die bis zur Berührung vergrößerte Annäherung an einen Magneten selbst zu einem Magneten geworden. Untersucht man das entferntere Ende durch eine kleine Deklinationsnadel, so zeigt es +M, und das nähere, wenn noch keine Berührung eingetreten ist, —M. Kehrt man das Stäbchen um, so verwandelt sich auch sein Magnetismus so, daß wieder das nähere Ende —M, das entferntere +M zeigt. Daraus folgt,

daß im weichen Eisen beide magnetischen Kräfte überall vorhanden sind, daß sie aber nur dann getrennt hervortreten, wenn es einem Magneten nahe genug gebracht wird und daß dieser Magnet den ungleichnamigen Magnetismus anzieht, den gleichnamigen abstößt.

Der Magnetismus bietet also dieselbe Induktionserscheinung, welche man auch Influenz nennt, dar, wie die Elektrizität. Das weiche Eisen verhält sich für den Magnetismus, wie ein guter isolirter Leiter für die Elektrizität.

Mit weichem Eisen kann man jeden Pol einer Magnetnadel nicht nur ablenken, sondern selbst in völlige Drehung versetzen, wie durch die Anziehung des ungleichnamigen Poles eines Magneten. — Eine solche Drehung läßt sich natürlich auch durch Abstoßung mit einem Magneten bewirken.

Nimmt man in dem obigen Versuche statt des weichen Eisens härteres oder Stahl, so tritt zwar auch eine solche Vertheilung ein, aber viel langsamer und die beiden Magnetismen halten sich auch nach der Trennung von dem vertheilenden Magneten noch gesondert. Nimmt man einen etwas längeren Stahlstab und einen sehr kräftigen Magneten, so bilden sich magnetische Folgepunkte, d. h. es wechseln hintereinander die beiden Polaritäten wiederholt miteinander ab. Der Stahl ist offenbar vergleichbar einem elektrischen Nichtleiter, auf welchem sich elektrische Zonen bilden ließen, abwechselnd mit +E und —E.

Hängt man an einen Magneten ein Stäbchen von weichem Eisen und ein gleich großes von Stahl, so zieht ersteres mehr Eisenfeile an, als letzteres; nach ihrer Trennung vom Magneten ist es umgekehrt. — War das Eisen ganz rein und weich, wie man es nur durch sehr vor-

sichtiges Abkühlen erhält, so verliert es nach der Trennung den Magnetismus sofort ganz. Die Kraft, mit welcher der Stahl der Annahme des Magnetismus widerstrebt und die, mit welcher er den angenommenen festhält, wird Koerzitivkraft genannt. Will man Magnete von recht langer Dauer und großer Tragfähigkeit haben; so muß man die Koerzitivkraft möglichst groß zu machen suchen, was durch das sogen. Anlassen und Härten geschieht. Blau angelassener und gut gehärteter (in Quecksilber abgelöschter) Stahl hat hinreichende Koerzitivkraft. — Wenn man einen Stab von gutem Gußstahl rothglühend macht, ihn mit einem starken Magneten aus dem Feuer holt und am Magneten schnell ablöscht, so bekommt man einen glasharten Magneten, welcher selbst nur mit einem seiner Pole das Zehnfache seines eigenen Gewichtes trägt.

Diese große Verschiedenheit zwischen Stahl und Eisen beruht jedenfalls auf dem inneren Gefüge: beim Stahle zeigt sich ein körnig krystallinischer Bruch, während beim Eisen die Theilchen mehr ineinander verschwimmen.

Jeder bestimmte Stahlstab läßt in sich nur einen bestimmten Grad der magnetischen Kraft als einen höchsten auf die Dauer zu und dieser Grad wird der Sättigungspunkt genannt. Er hängt theils von der Koerzitivkraft des Stahles, theils von seiner räumlichen Ausdehnung, theils von der Stärke des streichenden Magneten und der Dauer seiner Einwirkung ab. Je mehr Massentheile ein Stahlstab von bestimmter Beschaffenheit hat, desto größer wird die Gesammtkraft des daraus erhaltenen Magneten sein, wenn wir allen gleichen Theilen eine gleiche Kraft beilegen; also eine kleine Nadel wird einen geringeren Grad von Magnetismus annehmen, als eine größere, wenn jede ihren Sättigungsgrad erreicht hat. Nadeln, welche nur einen schwachen Magnetismus besitzen und sich leicht bewegen können, sind zugleich empfindliche Nadeln, d. h. vermögen durch ihre beiden Pole auch sehr geringe Grade von Magnetismus in anderen, ihnen genäherten Körpern anzuzeigen.

Solche schwach magnetisirte kleine Nadeln haben auch eine geringe Richtkraft, d. h. sie stellen sich nicht mit Leichtigkeit in den magnetischen Meridian, sondern bleiben in jeder ihnen gegebenen Lage stehen oder sind astatisch, weil sie die geringe Reibung nicht überwinden können. — Eine astatische Nadel würde man auch erhalten, wenn man eine Stahlnadel blos in ihrer Mitte mit dem einen Pole eines Magneten berührt: hier bekommt die Nadel entgegengesetzten, an den beiden Enden aber gleichnamigen Magnetismus. — Wenn eine Magnetnadel nur in einer zur Inklinationsnadel senkrechten Ebene schwingen oder sich überhaupt drehen kann, so ist sie auch astatisch. — Zu feinen Versuchen gebraucht man aber eine astatische Doppelnadel. Man verbindet nämlich zwei feine, gleich stark magnetisirte Nadeln, welche man einander parallel mit ungleichnamigen Polen nach derselben Richtung gelegt hat, in ihrer Mitte durch ein kurzes Querstäbchen und hängt sie so auf, daß

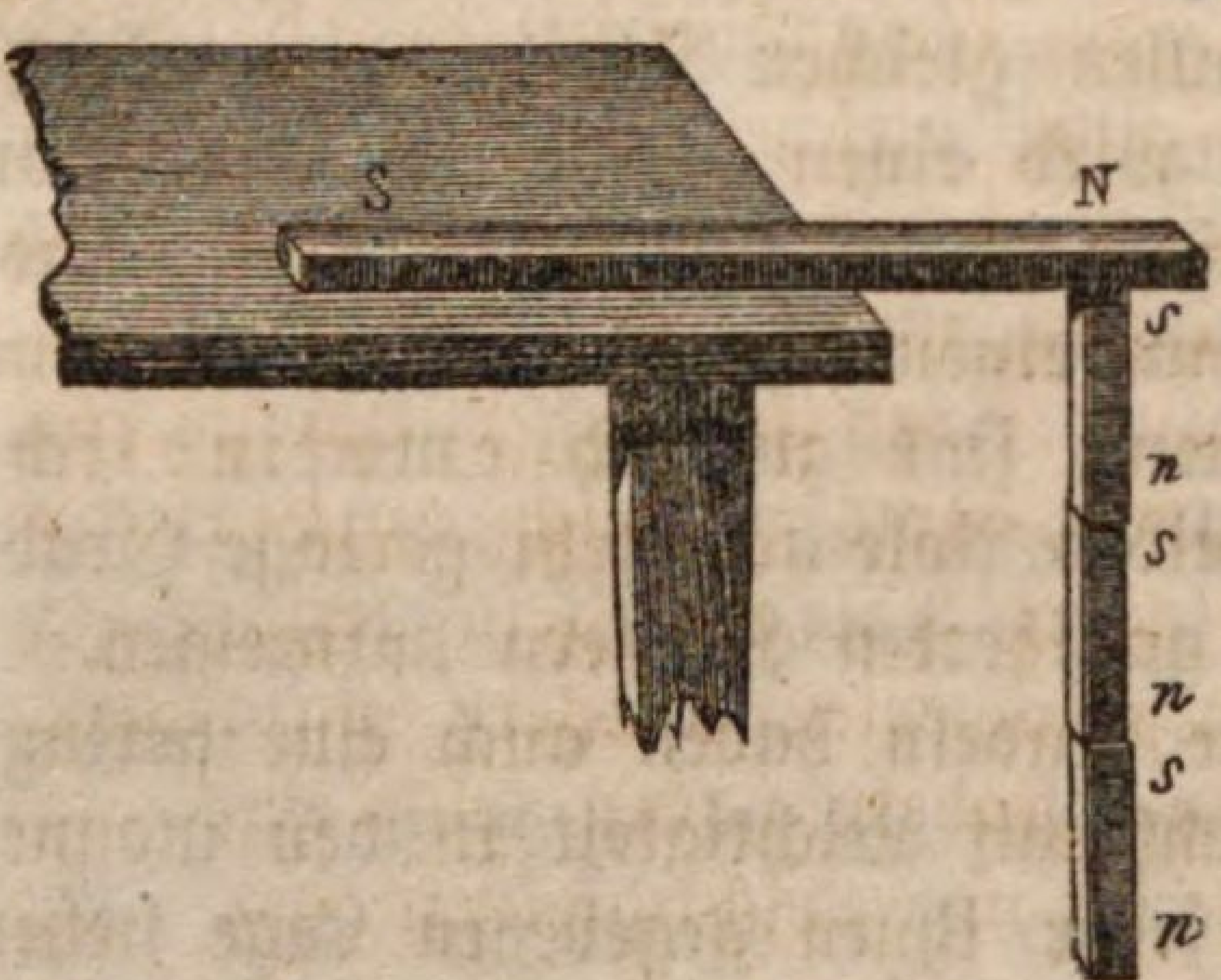
sie horizontal in einer lothrechten Ebene schweben. Weil die entgegengesetzten Magnetismen beider Nadeln einander beschäftigen, hat die Doppelnadel gar keine oder nur eine sehr geringe Richtkraft.

Streicht man zwei gleichgeformte und gleichgroße Stahlnadeln mit ungleich starken Magneten auf dieselbe Weise gleich oft, so wird die mit dem stärkeren Magneten behandelte auch die stärkere sein, weil jeder Magnetpol einen anderen seiner Stärke gleichkommenden und entgegengesetzten hervorzurufen sucht.

Durch das fortgesetzte Bestreichen wird zwar die Koerzitivkraft mehr und mehr überwunden und es kann auf eine kurze Dauer nach dem Aufhören des Bestreichens sogar eine Uebersättigung erzwungen werden, die Kraft des Magneten geht aber bald bis auf einen gewissen Punkt zurück, um dort stehen zu bleiben.

Aus der vertheilenden Wirkung eines Magneten gegen Stahl und Eisen läßt sich invoraus die Polarität der durch das Streichen nach irgendeiner Methode erhaltenen Magneten bestimmen. Will man die Polarität eines schwachen Magneten untersuchen, so führt die Probe durch Abstoßung sicherer zum Ziele, als die durch Anziehung, weil ein starker Probirmagnet in einem schwachen Magneten die Polarität leicht umkehren kann.

Beim weichen Eisen ergeben sich noch einige Erscheinungen, welche uns auf das Wesen des Magnetismus zu leiten geeignet sind.

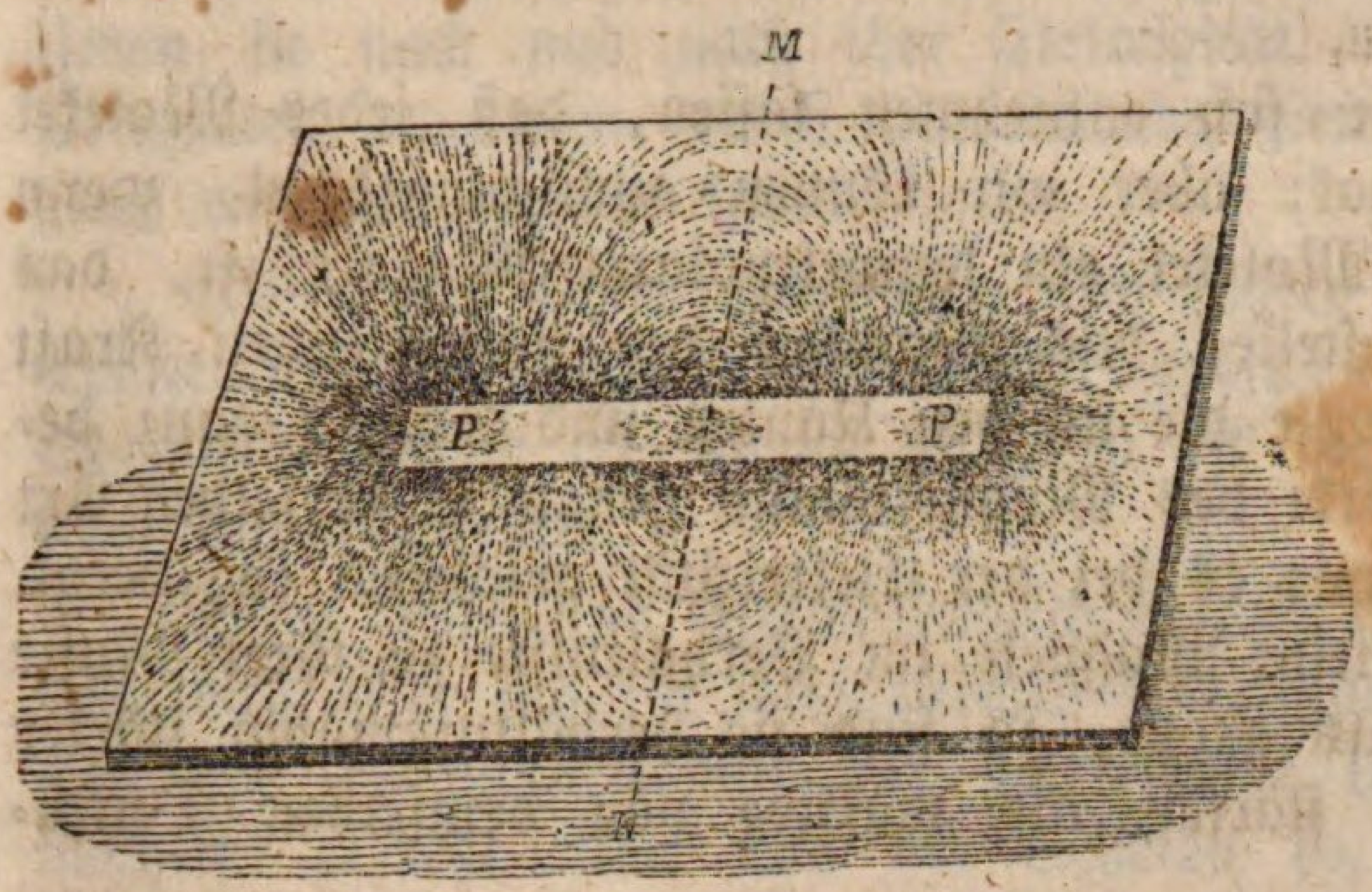


(Fig. 399.)

Macht man sich aus weichem Eisendrahte eine Menge kurzer Stücke und läßt man, wie Fig. 399 zeigt, von dem Nordpole N eines derselben anziehen, so bekommt dieses dadurch oben einen Südpol s und unten einen Nordpol n; durch letzteren kann man ein zweites Drahtstückchen magnetisch machen und anziehen lassen. Auch dieses hat oben den Nordpol und unten den Südpol und so kann man nach der Stärke des Magneten und der Länge und Schwere der Eisenstückchen eine gewisse Anzahl anhängen, welche alle nach unten den Nordpol haben. Wären es Eisenfeile, so würden sie einen ziemlich langen Faden bilden.

Wenn man nun von demselben Pole des Magneten nebenan eine zweite Reihe von solchen Eisenstückchen anziehen läßt, so haben auch diese ihren Nordpol alle nach unten. Die natürliche Folge davon ist, daß diese beiden Reihen nicht parallel nebeneinander herabhängen, sondern nach unten auseinandergehen oder divergiren, weil die gleichnamigen Pole überall nach unten liegen. Auffallend zeigt sich diese Erscheinung

nicht nur bei Eisenfeilen, sondern auch bei einer größeren Menge von gleichlangen Drahtstücken, welche man an dem einen Ende anziehen läßt.



(Fig. 400).

Wenn man einen kräftigen Magnetstab nimmt, ihn auf ein Brettchen und darüber ein Blatt Papier legt, wie es Fig. 400 angibt, so gestalten sich gleichmäßig aufgesiebte feine Eisenfeiltheile zu Fäden, welche an den beiden Polen P P des Magnetstabes eine ziemlich grade von ihnen auslaufende Richtung haben, gegen die Mitte des Stabes aber sich von dem einen Pole zu dem anderen hin krümmen und von jenseits und diesseits der Mittellinie MN einander gewissermaßen die Arme reichen, weil ja die Elemente der Fadentheile, welche von den beiden Magnethälften ausgehen, an den Enden entgegengesetzte Magnetismen haben, also einander anziehen. Dieses sind die sogen. magnetischen Figuren. Man erhält zusammengesetztere Figuren, wenn man mehre kurze Magnete mit den gleichnamigen oder ungleichnamigen Polen hinter- oder nebeneinander legt. Bei einem Hufeisenmagneten bildet sich eine magnetische Brücke, d. h. die Fäden von dem einen Pole ziehen sich in einem Bogen hinüber zu dem anderen, weil ihre Enden ungleichnamigen Magnetismus besitzen.

Die Stärke des Magnetismus nimmt in dem Stabe von den Enden nach der Mitte hin, wo die Mittellinie MN ihn schneidet, so ab, daß sie hier verschwindet. Es ist dort eine neutrale Zone, welche der Indifferenzstelle eines isolirten elektrischen Leiters entspricht. Man kann sich davon noch dadurch überzeugen, daß man eine ganz kurze, an einem Faden hängende Magnetnadel langsam und parallel über ihm von dem einen Pole bis zu dem anderen hin bewegt. Fängt man von dem Nordpole des Stabes an, so wird sich die Nadel, welche man aus größerer Entfernung über ihm herabläßt, mit ihrem Südpole immer mehr herabsenken; wenn man nun die Nadel in einer bestimmten Höhe über dem Stabe fortführt, so hebt sich ihr Südpol mehr und mehr, er steht in der Mitte des Stabes gleich hoch mit dem Nordpole und darüber hinaus senkt sich der Nordpol der Nadel mehr und mehr. Die Mitte des Stabes wirkt auf die Nadel weder als Nordpol noch als Südpol, verhält sich also indifferent.

Wesen des Magnetismus. Zerbricht man einen glasharten Magnetstab, so ist jedes Bruchstück auch ein Magnet und zwar so, daß

die gleichnamigen Pole aller noch so kleinen Theile nach derselben Richtung liegen und somit an jeder Bruchstelle ungleichnamige Pole zusammen treffen. Auch die Stücke an der Indifferenzstelle sind ebenso gut magnetisch, als die anderen.

Schon daraus möchte sich entnehmen lassen, daß jedes Molekel seine beiden Magnetpole hat; aber wir können auch umgekehrt, wenn wir annehmen, daß jedes Molekel ein doppeltpolarer Magnet ist, das Erscheinen der Indifferenzstelle, das Wachsen der magnetischen Kraft nach den beiden Enden, sowie die an den Kanten und Spitzen ganz besonders hervortretende Stärke des Magnetismus genau in derselben Art als nothwendig beweisen, wie es bei der Elektrizität geschehen ist (vergl. Bd. II. S. 287). Weil kleine Magnete im Verhältnisse zu ihrer Masse mehr Oberfläche haben, als große, so sind sie verhältnißmäßig stärker und ebenso hohlzylindrische stärker, als massive von demselben Durchmesser.

Da nun die beiden magnetischen Kräfte in jedem einzelnen Theilchen des Magneten vorhanden sind, so werden sie aufeinander theils anziehend, theils abstoßend wirken und es muß sich für jede der beiden Polaritäten ein Angriffspunkt der Resultirenden aller gleichnamigen Polaritäten ergeben und dieses wird eigentlich der Sitz der betreffenden Polarität und die Stelle der stärksten Anziehungskraft sein; es sind die idealen Magnetpole, welche also nicht an den Enden des Magneten liegen, sondern je nach der Form und Länge desselben in verschiedener Entfernung davon: bei einem Stabe von 6 bis 8 Zoll Länge etwa 1½ Zoll von den beiden Enden; bei kürzeren Stäben liegen sie um etwa ein Drittel der halben Länge entfernt. Die Verbindungslinie dieser Pole ist die magnetische Axe des Magneten, welche mit der materiellen nicht stets zusammenfällt.

Hängt man demnach an verschiedenen Stellen eines etwa 1 Fuß langen Magneten eiserne Gewichte, so findet man die Tragkraft in einiger Entfernung von den Enden am größten.

Die Lage der Indifferenzstelle und der beiden Pole ändert sich, wenn der Magnet durch einseitige Anziehung beschäftigt wird, mag es nun sein, daß er weiches Eisen zufolge der in ihm hervorgerufenen Polarität anzieht oder einen schon vorhandenen Magneten: die Indifferenzstelle nähert sich der Berührungsstelle. — Auch durch eine Veränderung in der Entfernung eines elektrischen Körpers wird die Lage der Indifferenzstelle und die Kraft des Magneten geändert.

Die Bruchstücke eines durch Erwärmung elektrisch gewordenen Turmalins sind ebenso polarelektrisch, wie die eines Magnetstabes polarmagnetisch.

In der Nähe der Krater findet man, daß die Magnetnadel von ihrer Richtung abgelenkt wird; aber nicht etwa, weil dort eine unmittelbar magnetische Einwirkung stattfindet, sondern wegen der sich daselbst

entwickelnden Reibungselektrizität. Ebenso zeigt sie während sehr heftiger Gewitter unruhige Schwankungen.

Wenn elektrisches Glas oder Siegellack erwärmt werden, so verlieren sie nach und nach ihre Elektrizität. Ebenso ist es bei einem Magneten, welchem durch hinreichende Erwärmung der Magnetismus ganz entzogen werden kann.

Wenn nun schon aus diesen und später noch anzuführenden anderen Erscheinungen die große Aehnlichkeit zwischen Spannungselektrizität und Magnetismus in die Augen fällt, so ist der folgende Versuch als entscheidend anzusehen.

Man stelle eine Elektrisirmaschine mit einer großen Glasscheibe so auf, daß diese sich im magnetischen Meridiane befindet, um den Einfluß des Erdmagnetismus für die weitere Untersuchung unschädlich zu machen. Dreht man nun die Scheibe so, daß ihre Südseite zuerst nach unten, dann nach Norden, nach oben u. s. w. kommt, so erhalten die Massentheilchen des Glases sowohl an der Ost-, als an der Westseite, durch die Reibung in der Südhälfte eine Richtung, welche der in der Nordhälfte entgegengesetzt ist. Es liegt in der Natur des Glases, daß diese bestimmte Lage der Theilchen nur eine vorübergehende ist, indem sich durch die Influenz der Umgebung die alte Ruhelage wieder herstellt. Bringt man aber vorher eine kurze und leichte Magnetnadel, welche man mit der Glasscheibe parallel hält, was ja ohneweiteres geschehen kann, weil die Scheibe im magnetischen Meridiane liegt, in die Nähe der Südhälfte, so wird ihr Südpol auf beiden Seiten der Scheibe angezogen; bringt man die Nadel in die Nähe der Nordhälfte, so wird ihr Nordpol angezogen.

Dreht man die Scheibe in umgekehrter Richtung, so kommen ihre Massentheilchen vorübergehend in eine entgegengesetzte Lage und daher erfolgt statt der Anziehung an den betreffenden Hälften eine Abstoßung. Bei diesem Versuche kann man nicht alle Fälle sogleich hintereinander untersuchen, weil die umgebende Luft durch ihre Elektrizität eine Störung in der Erscheinung hervorbringt.

Man kann durch den Entladungsschlag einer leidener Flasche eine kleine Stahlnadel ab augenblicklich magnetisch machen. Verbindet man das Ende a mit der inneren positiven Belegung und das Ende b mit der äußeren, so bekommt b positiven und a negativen Magnetismus. Energischer ist die Wirkung, wenn man den isolirten Leitungsdraht in einer rechts gewundenen Spirale (von oben nach rechts, unten u. s. w.) um die Stahlnadel leitet. Der Vorgang besteht in einer Vertheilungserscheinung durch die elektrische Abgleichungsschwingung in der Stahlnadel, wobei, wie wir wissen, auf dem Rückwege zwei Viertel, auf dem Hinwege nur ein Viertel einer ganzen Schwingung gemacht werden. Jener größere Weg ist es, welcher in dem Stahle wegen seiner Natur

die Lage der Molekel zu einer bleibenden macht; sie sind in dieser Lage wie festgebannt.

Die gefesselte Schwingung der Molekel ist der Art, daß der positive Magnetismus an einem Magneten sich um ihn in einer rechts gewundenen, der negative in einer links gewundenen Spirale geltend macht, so daß wir grade wie bei der Elektrizität und mit Benutzung derselben erläuternden Figuren S. 344 sagen können:

> gleichgerichtete magnetische Schwingungen (ungleichnamige Pole) ziehen einander an, entgegengesetzt gerichtete (gleichnamige Pole) stoßen einander ab.

Einen der schlagendsten Beweise davon, daß der Magnetismus nur in einer veränderten Lage der Molekel besteht, gibt die Erfahrung von der Veränderung der Stärke des Magnetismus durch einseitige Pressung der Körper und durch Drehung und Aufdrehung eines Stahlstabes während seiner Magnetisirung.

> Der Magnetismus besteht also, wie die Spannungselektrizität, in einer aus ihrer Gleichgewichts- in eine Schwingungslage versetzten und darin festgehaltenen Spannungslage, wobei der positive Magnetismus mit der positiven Elektrizität, der negative Magnetismus mit der negativen Elektrizität wesentlich dasselbe ist.

Von einer magnetischen Materie kann absolut nicht die Rede sein, auch wird das Gewicht eines Stahlstabes durchaus nicht vermehrt, wenn er auch einen noch so starken Magnetismus angenommen hat und die Richtkraft der Erde gegen ihn zu der Schwere getreten ist.

Der Unterschied besteht nur darin, daß entgegengesetzte Elektrizitäten einander bei der Berührung der Körper mit großer Leichtigkeit abgleichen und verschwinden, daß aber entgegengesetzte Magnetismen zwar einander anziehen und während der Berührung der Körper verschwunden zu sein scheinen, bei der Trennung aber wieder selbstständig hervortreten. Sie umklammern einander während der Berührung freundschaftlich und geben jede Wirkung nach außen auf; werden sie aber gewaltsam getrennt, so treten ihre alten Eigenthümlichkeiten wieder hervor.

Hat man zwei gleichstarke Magnetstäbe, läßt man z. B. einen Schlüssel von dem einen anziehen, etwa durch den Nordpol, und bringt man dann den Südpol des zweiten Magneten an den Nordpol des ersten, so läßt dieser den Schlüssel fallen, als ob aller Magnetismus verschwunden wäre. Es ist dieses also eine Interferenz des Magnetismus. Trennt man die Magneten, so ist jeder Pol wieder anzuziehen fähig.

Weder beim Zusammenbringen, noch beim Trennen zweier entgegengesetzten Magnetpole entsteht ein Funken, weil der Weltäther dazwischen nicht in Schwingungen gerathen kann, da die Molekel ihre den Magnetismus bestimmende Lage behalten, während sie bei der Elektrizität in

dem ähnlichen Falle einander entgegenschwingen. Es ist nur, als ob der Raum zwischen zwei benachbarten entgegengesetzten Magnetpolen durch die Lage der Molekel, an denen er theilnimmt, ätherleer gemacht wäre und als ob der umgebende Aether die Magnete zusammendrückte. Ungeachtet seiner Feinheit muß er wegen seiner Unbegränztheit doch eine große Kraft besitzen.

Bringt man die beiden Magnetstäbe mit ihren gleichnamigen Polen dicht aneinander, so tritt eine Koinzidenz ein, denn da die gleichnamigen Polaritäten einander abstoßen, so zeigt sich jeder nach außen wirksam und sie wirken nach außen mit der Summe ihrer Kräfte.

Dieses gibt ein Mittel, aus mehren schwächeren Magneten eine magnetische Batterie oder ein magnetisches Magazin zu bilden, indem man alle gleichnamigen Pole aneinander legt; die Kraft des Ganzen ist aber kleiner, als die der Summe seiner Theile.

Weil jeder der beiden Pole eines Magneten unabhängig von dem anderen anzuziehen fähig ist, so kann man die Kraft beider gleichzeitig benutzen. Dieses erreicht man, wenn man den Magneten hufeisenförmig krümmt, so daß die beiden Polenden einander ziemlich nahe gegenüberstehen. Legt man nun ein Stück weichen Eisens, welches etwas länger, als die Entfernung beider Polenden ist und einen Haken zum Anhängen von Gewichten besitzt, an die Pole, so kann man dem Magneten ziemlich viel zu tragen geben. Ein kleiner Magnet von 1 bis 2 Loth kann das 30- bis 40fache, einer von 1 bis 2 Pfund Gewicht nur etwa das 10- bis 15fache seines eigenen Gewichtes tragen. Ist dieses Eisen, der Anker, angelegt, so wird die Kraft des Magneten erhalten und gekräftigt, weil die beiden Magnetismen immer in Thätigkeit erhalten und getrennt, d. h. die Schwingungen festgehalten werden, wogegen sie ohne Beschäftigung das Bestreben haben, sich im Stahle miteinander zu verbinden, d. h. die Schwingung rückgängig zu machen. Theilweise thun sie dieses auch, wenn man den Anker plötzlich abreißt. — Will man beim Aufbewahren von Magneten für die Erhaltung ihrer Kraft sorgen, so muß man sie beschäftigen: einem einzelnen Hufeisen legt man einen Anker an; sind zwei Hufeisenmagnete aufzubewahren, so legt man sie mit entgegengesetzten Polen aneinander auf dieselbe Ebene; Stäbe legt man parallel nebeneinander, mit entgegengesetzten Polen nach derselben Richtung und gibt ihnen an den Enden zwei Anker.

Die Erde wirkt als Magnet. Wenn man dem Nordpole einer frei schwebenden Magnetnadel den Südpol eines anderen hinreichend starken Magneten entgegenhält, so kann man dadurch der Nadel jede beliebige Lage geben und sie durch den Magneten darin festhalten, auch wenn eine Berührung beider nicht stattfindet. Nimmt man den Magneten weg, so stellt sie sich in die dem irgendwo auf der Erdoberfläche befindlichen Beobachtungsorte zukommende feste Lage, wenn auch

alles Eisen und alle Magnete fern von ihr sind. Es muß sie jedenfalls eine uns nicht sichtbare magnetische Kraft so stellen und zwar muß auf ihren Nordpol ein —M, auf ihren Südpol ein +M wirken; in unseren Gegenden und überhaupt in dem größten Theile der nördlichen Halbkugel der Erde ist also ein negativer, in der südlichen ein positiver Magnetismus wirksam. Die Erde ist also als ein Magnet mit den zwei entgegengesetzten Magnetismen anzusehen und muß magnetische Pole haben, welche mit den astronomischen nicht zusammen fallen.

Wenn wir in Deutschland das nach Norden gerichtete Ende der Magnetnadel ihren Nordpol, das andere den Südpol nennen, so ist dieses eigentlich unangemessen, weil man angemessener dem Magnetismus der Erde in ihrer Nordhälfte die Nordpolarität (+M) beilegen müßte und dann würde der Magnetismus im nördlichen Ende der Nadel Südpolarität haben. In Frankreich hat man die angemessenere Benennung eingeführt; wir wollen aber dem Gewohnheitsrechte hier seine Geltung lassen, wobei uns die Bezeichnungen mit +M für den Magnetismus im nördlichen Theile der Nadel und in der südlichen Hälfte der Erde, und mit —M für den Magnetismus im südlichen Theile der Nadel und in der nördlichen Hälfte der Erde allenfalls aushelfen sollen.

Wir können die magnetische Wirkung der Erde vorzüglich nach drei Richtungen untersuchen: welchen Einfluß der Erdmagnetismus auf eine Deklinationsnadel in den verschiedensten Punkten der Erdoberfläche hat, welchen Einfluß auf die Inklinationsnadel und welches überhaupt seine Kraft an verschiedenen Orten der Erde ist. Wir wollen diese drei Fälle untersuchen.

1) Wenn wir eine Magnetnadel irgendwie schwimmen lassen, so daß sie nicht blos sich drehen, sondern auch eine fortschreitende Bewegung annehmen kann, so wird sie letzteres ungeachtet der anziehenden Kraft der Erde nicht thun und etwa bei uns nach Norden schwimmen, sondern sie wird sich nur richten. Bei der geringen Länge der Nadel, der bedeutenden Größe der Erde und der großen Entfernung ihrer magnetischen Pole von der Nadel wirken nämlich die beiden erdmagnetischen Pole in parallelen Richtungen auf die Pole der Nadel und zwar jeder Erdpol auf den einen Nadelpol anziehend, auf den anderen abstoßend, folglich heben diese Kräfte einander auf, die Nadel stellt sich nur in eine gewisse Richtung oder die Erde zeigt nur eine gewisse Richtkraft, welche das Resultat der auf sie wirkenden Seitenkräfte ist, von denen wir später bei den thermoelektrischen Strömen sprechen werden.

Ein ganz anderer Fall ist es, wenn man auf oder in dem Wasser Wasservögel (Schwäne) oder Fische aus Metallblech schwimmen läßt. Man bringt hierbei in dem Schnabel oder Kopfe der Figur einen kleinen Magneten versteckt an und kann dann durch einen anderen in der Hand wohl auch verborgen gehaltenen Magneten entweder Anziehung

(Angeln des Fisches) oder Abstoßung bewirken. Bei diesen magnetischen Spielwerken wirkt der eine Pol stärker, als der andere.

Wenn man mittelst eines Deklinationsinstrumentes (Deklinatoriums), welches durch eine Deklinationsnadel gestattet, die Lage des magnetischen Meridians gegen den astronomischen zu bestimmen, an den verschiedensten Orten der Erdoberfläche die Abweichungen aufsucht; so findet es sich, daß dieselbe nur an wenigen Orten Null ist, d. h. daß beide Meridiane zusammenfallen und die Nadel genau nach Norden zeigt, denn sie ist theils eine westliche, theils eine östliche, jenachdem in unserer Halbkugel der Nordpol der Nadel westlich oder östlich vom astronomischen Meridiane steht.

Der magnetische Nullmeridian oder die Linie ohne Abweichung geht von Norden kommend mitten durch die Hudsonsbai, durchschneidet den östlichen Theil Nordamerikas, die Ostspitze Südamerikas und zieht sich in südöstlicher Richtung durch den atlantischen Ozean nach dem Südpole. Auf der östlichen Halbkugel hat diese Linie eine mehrfach gekrümmte Lage: sie zieht sich von dem Südpole aus nördlich durch den indischen Ozean nach der Mitte der Südküste Australiens, tritt aus seiner Nordwestküste hervor, um in einem großen Bogen durch das indische Meer und durch das südliche Asien, Ostindien umschließend, nach der Ostküste Chinas zu gehen, von da durch das japanische Meer nördlich, dann wieder in einem großen südlich gerichteten Bogen durch Sibirien, um endlich, das weiße Meer durchschneidend, sich dem Nordpole zuzuwenden.

Diejenigen Länder und Meere, welche von uns aus zwischen dem östlichen und westlichen Theile dieser Linie liegen, wie das westliche Asien, ganz Europa, ganz Afrika, der größte Theil des atlantischen Ozeans, östliche Theile Amerikas, haben alle eine westliche Abweichung, welche von einer gewissen Linie nach Osten und nach Westen bis zu Null abnimmt; der ganze stille Ozean, die östlichen Theile Neuhollands und Asiens, der größte Theil von Amerika haben eine östliche Abweichung, welche auch von einer gewissen Linie an nach beiden Seiten zu dem Nullmeridiane hin abnimmt.

Da es namentlich für die Schifffahrt höchst wichtig ist, zu wissen, wie groß überall die Abweichung ist, so hat man Karten entworfen, welche Linien, isogonische Linien, enthalten, in denen dieselbe bestimmte Abweichung stattfindet. Diese Linien haben sehr verschiedene Krümmungen und sind zum Theil geschlossen, sie ziehen sich aber im Allgemeinen von Süden nach Norden, indem sie sich gewissen Punkten nähern, um einander dort zu schneiden. Diese Punkte sind die magnetischen Pole der Erde. Den einen hat der berühmte Kapitain Roß an der Nordküste Nordamerikas in 70° 5′ 17″ nördlicher Breite und 96° 45′ 18″ westlicher Länge von Greenwich aufgefunden; ein zweiter liegt im nördlichen Sibirien an der Lena; der südliche Pol befindet sich

etwa 73° südlicher Breite und 152½° östlicher Länge im südlichen Eismeere, südlich von Neuholland. Geht man um den Magnetpol der Erde, so macht die Deklinationsnadel einen förmlichen Kreislauf, indem der eine Pol von ihr stets nach dem Erdpole hinweist; in der unmittelbaren Nähe verliert sie ihre Richtkraft völlig und folgt dem Laufe der Sonne.

Daß die magnetischen Pole nicht in den geographischen Polen liegen, hat seinen Grund theils in der schiefen Lage der Erdaxe, theils in der so ungleichmäßigen Vertheilung von Land und Wasser, wodurch der thermoelektrische Zustand der Erde und somit, wie wir später sehen werden, die magnetische Polarität bestimmt wird.

Ein Schiffskompaß wird zur Orientirung auf dem Meere und um dem Schiffe überall seinen richtigen Lauf anzuweisen nur dann brauchbar sein, wenn man weiß, welchen ablenkenden Einfluß das auf den Schiffen befindliche Eisen hat, wozu auch die Anker und Ketten an ihren bestimmten Standorten gehören. Man läßt zu diesem Zwecke, nachdem alles Eisengeräth an seinen bestimmten Ort gebracht worden ist, das Schiff in einiger Entfernung vom Ufer, wie man zu sagen pflegt, schwingen, d. h. man dreht das Schiff nach und nach im Kreise herum und beobachtet die Lage der Magnetnadel gegen einen bestimmten Punkt auf dem Lande. Man ist dann auch im Stande, durch ein Stück Eisen, welches in angemessener Lage und Entfernung von der Magnetnadel an ihrem Gestelle angebracht ist, den ablenkenden Einfluß des Schiffseisens aufzuheben. Man bringt zu diesem Zwecke den Kompaß auf das Land und bestimmt während der Drehung des Kompasses, welche der Drehung des Schiffes entspricht, die Lage des Eisens so, daß es dieselbe Ablenkung hervorbringt, wie das Schiff bei derselben Lage. Man muß dann bei der auf dem Schiffe beobachteten Ablenkung die durch das Schiffseisen hervorgebrachte in Anrechnung bringen.

2) Auch auf eine Inklinationsnadel zeigt der Erdkörper in seinen verschiedenen Theilen einen verschiedenen Einfluß. So wie bei einer Wanderung um die Erde in ostwestlicher Richtung im Allgemeinen die Deklination sich änderte, so findet sich bei Reisen in nordsüdlicher Richtung eine Aenderung in der Inklination. Man kommt hierbei stets auf einen Punkt der Erdoberfläche, in welchem die Deklinationsnadel genau horizontal steht, in welchem also der Einfluß der beiden erdmagnetischen Pole auf die beiden Pole der Nadel ein genau gleicher ist. Verbindet man alle diese Punkte durch eine Linie, so ist diese der magnetische Aequator der Erde. Er ist zu vergleichen mit der Indifferenzstelle eines Magnetstabes, von wo aus die Kraft der beiden Polaritäten gleich vertheilt ist. Auch dieser Aequator fällt mit dem astronomischen nicht zusammen, sondern schneidet denselben in zwei Punkten, nämlich 180° und 5° östlich von Greenwich, welche man Knoten nennt. Von dem Knotenpunkte an der Insel St. Thomas ist beobachtet worden, daß er

nach Osten rückt. — In dem stillen Ozeane geht der magnetische Aequator dem astronomischen fast parallel und wenig südlich von ihm; am meisten und zwar gegen 12° nördlich bei 50° östlich entfernt er sich vom astronomischen Aequator in Afrika am weitesten. Bei der Wanderung vom magnetischen Aequator aus nach dem magnetischen Nordpole senkt sich der Nordpol der Nadel mehr und mehr, bei der Wanderung nach Süden der Südpol. Kommt man über die Magnetpole der Erde selbst, so steht die Inklinationsnadel senkrecht auf dem Horizonte. Zur genauen Bestimmung der Inklination hat man ein besonderes Instrument, das Inklinatorium. Wenn alle Punkte mit derselben Inklination durch Linien verbunden werden, so sind dieses die isoklinischen Linien. Sie bilden zwar in sich geschlossene krumme Linien, sie gehen aber nicht mit dem Aequator parallel. Um die Magnetpole verengen und krümmen sie sich mehr und mehr, so daß sie dadurch auch auf die Lage derselben hinweisen.

3) Endlich kann man noch die Stärke des Erdmagnetismus auf den verschiedenen Orten der Erdoberfläche untersuchen. Auf sie kann ein Schluß gemacht werden aus der Menge der Schwingungen, welche eine bestimmte Magnetnadel in einer bestimmten Zeit macht. Wenn man dem einen Pole einer Magnetnadel in ihrer Ruhelage den freundschaftlichen Pol eines Magneten so gegenüber hält, daß sie dadurch nicht aus ihrer Lage gebracht wird und man bringt sie dann mit der Hand in eine andere Lage, so wird sie, nachdem man sie losgelassen hat, mit einer bestimmten Anzahl von Schwingungen in einer gewissen Zeit in ihre erste Stellung zurückkehren. Bringt man ihr den Magneten näher oder nimmt man einen stärkeren Magneten, so kehrt sie in früherer Zeit zurück und macht schnellere Schwingungen. Die auf die Nadel wirkenden Kräfte verhalten sich wie umgekehrt die zu einer bestimmten Anzahl von Schwingungen erforderlichen Zeiten oder auch wie die Quadratzahlen der Menge von Schwingungen in einer gewissen Zeit.

Darnach läßt sich mit einer bestimmten, in ihrer Kraft sich gleichbleibenden Inklinationsnadel, auf welche der Erdmagnetismus seinen ganzen Einfluß ausüben kann oder auch mit einer Deklinationsnadel, auf welche nur ein bestimmter Theil der Kraft desselben zur Geltung kommen kann, das relative Verhältniß der erdmagnetischen Kraft an verschiedenen Orten bestimmen. Man hat die unter 5° östlicher Länge von Ferro und 7° südlicher Breite beobachtete Kraft als Einheit angenommen. In Deutschland kann die in jedem Kubikmeter der Erde wirksame Kraft gleichgesetzt werden der vereinigten Wirkung von ungefähr acht Magnetstäben von 1 Pfund.

Der Erdmagnetismus zeigt in den verschiedenen Punkten des magnetischen Aequators nicht einerlei Kraft, sie wächst zwar nach den Magnetpolen, so daß sie hier gegen 1,5mal größer ist, als dort; aber die Pole selbst sind nicht die Punkte größter Stärke, sondern

der Angriffspunkt aller Resultirenden hat eine geringere geographische Breite. Wenn man alle Punkte gleicher Kraft verbindet, so bekommt man die isodynamischen Linien. Die Linien gleicher Erdwärme sind annähernd auch die Linien gleicher magnetischer Kraft.

Periodische Veränderungen des Erdmagnetismus. Wenn man eine Magnetnadel oberflächlich betrachtet, so scheint sie in starrer Abgeschlossenheit sich um die Außenwelt gar nicht zu kümmern, sondern unbewegt auf ein fernes Ziel hinzusteuern. Aber dem ist nicht so. Die Magnetnadel ist im Gegentheile unter Anwendung der geeigneten Vorrichtungen der empfindlichste Apparat, welchen wir kennen. Die von der bloßen Hand ausgehende und auf die Entfernung wirksame Wärme oder die Krümmung eines Fingers oder die Berührung zweier sehr kleiner Stückchen von verschiedenen Metallen ist schon geeignet eine weit entfernte Magnetnadel aus ihrer Lage zu bringen und uns durch diese Erscheinung in gerechtes Staunen zu versetzen.

Die genaueren Beobachtungen der Magnetnadel an einem bestimmten Orte zeigen, daß sie theils regelmäßige Schwingungen, Variationen, macht, welche sich auf die einzelnen Tage, auf die Monate und das Jahr und auf größere Jahresperioden beziehen lassen, theils unregelmäßige, Perturbationen, welche man nicht vorher zu bestimmen vermag, indem sie unerwartet eintreten und daß somit Deklination, Inklination und Intensität gesetzmäßigen Veränderungen unterworfen sind.

Um die Zeit der mittleren Tagestemperatur, welche im Sommer früher eintritt, als im Winter, und zwar vormittags zwischen 10 und 11 Uhr, nachmittags zwischeu 6 und 7 Uhr, steht die Magnetnadel in dem magnetischeu Meridiane des Beobachtungsortes, von da aus macht sie täglich Schwingungen nach beiden Seiten, welche in der Nacht unbedeutender als am Tage und ebenso in den kälteren Monaten kleiner, als in den wärmeren sind. Die größte Schwankung nach Westen tritt zu allen Jahreszeiten gegen 2 Uhr nachmittags ein, die größte nach Osten 8 Uhr vormittags und gegen 1 bis 2 Uhr morgens und ist im Sommer früher, als im Winter. In den beiden letzten Fällen ist die Abweichung natürlich immer noch eine westliche. Die Schwankungen zeigen sich an, unter und über der Erdoberfläche. In dem letzten Falle hat man bei Luftfahrten selbst in einer Höhe von 1 Meile noch gar keine Veränderung in dem magnetischen Verhalten der Erde entdecken können, wie es auch theoretisch vorherzusagen war.

Während nördlich vom magnetischen Aequator das Nordende der Nadel westlich geht, findet dieses südlich davon mit dem Südende statt.

Es ist keinem Zweifel unterworfen, daß diese regelmäßigen Veränderungen mit den Wärmeunterschieden, welche an verschiedenen Orten durch die Stellung der Sonne in den Tages- und Jahreszeiten hervorgebracht werden, im innigsten Zusammenhange stehen. Wärme schwächt den Magnetismus, also schwächt sie bei uns am Tage und im Sommer

den östlichen und südlichen Erdmagnetismus und daher wächst vom Vormittage an die westliche Abweichung, Inklination und Intensität. Weil bei Nacht, im Winter und bei bedecktem Himmel geringere Wärmeunterschiede stattfinden, sind auch die Schwankungen geringer. Am Erdäquator ist die mittlere Inklination eine südliche, weil die nördliche Halbkugel wärmer ist, als die südliche.

Außer den täglichen und jährlichen Schwankungen hat man noch eine mit der zehnjährigen Epoche der Sonnenflecken zusammen hängende, in dieser Zeit einen größten und einen kleinsten Werth erlangende Schwankung aufgefunden, über deren Grund sich für jetzt wohl kaum eine Meinung abgeben läßt.

Noch dunkler in ihrem Verlaufe und der sie hervorbringenden Kräfte sind die großartigen Schwingungen jenseits und diesseits des astronomischen Meridians, welche erst fast nach Jahrhunderten eine ganze Schwingung geben. Wenn auch gegenwärtig in Europa die Deklination noch eine westliche ist, so verkleinert sich dieselbe doch mehr und mehr, in Wien z. B. jährlich um 9,15′, so daß sie dort, wo sie im Jahre 1854 noch 13° 6′ betrug, etwa im Jahre 1906 Null sein wird, um dann eine östliche zu werden.

In Paris war im Jahre 1580 die Abweichung 11½° östlich, 1618 nur 8°, 1663 war sie 0°; 1700 war sie schon 8⅙° westlich, 1780 fast 20°, 1814 über 22½° und seit dieser Zeit nimmt die westliche Abweichung ab, um wieder 0° zu werden und dann in eine östliche überzugehen.

Wenn wir auch diese Schwankungen in einem Wechsel der magnetischen Kraft in den beiden Erdhälften, der östlichen und westlichen suchen müssen, so haben wir bis jetzt gar keine Anhaltspunkte für den Grund dieses Wechsels, welcher uns eine Art von perpetuum mobile darbietet.

Wenn auch die neueren Beobachtungen ergeben, daß sowohl die horizontale Intensität als auch die Gesammtkraft des Erdmagnetismus im Wachsen begriffen ist, so darf man doch niemals die Hoffnung hegen, daß diese Kraft sich praktisch in lohnender Weise wird verwerthen lassen. Ich habe es wohl einmal dahin gebracht, daß eine Deklinationsnadel stundenlang durch den Einfluß des Erdmagnetismus und eines lothrecht gestellten Magnetstabes in Schwingungen blieb. Aber wenn man auch voraussetzen wollte, daß der Magnetstab unter Mitwirkung des Erdmagnetismus seine Kraft unverändert behielte (sein Nordpol war unten und der Südpol dem Nordpole der Nadel genähert); so ist doch die Reibung, welcher die Deklinationsnadel ausgesetzt ist, nicht eine gleichbleibende Größe und die ganze Arbeitskraft eine sehr unbedeutende.

Störungen oder Perturbationen der Magnetnadel. Außer den regelmäßigen Schwankungen der Magnetnadel findet es sich bisweilen, daß sie plötzlich in eine unruhige Bewegung geräth und dabei Schwingungen bisweilen von 5° bis 6° macht. Schon sehr plötzliche

Temperaturwechsel lenken die Nadel ab, noch mehr aber heftige Gewitterstürme, Ausbrüche von Vulkanen und Erdbeben, vorzüglich sind es die Polarlichter, welchen die unruhigsten Bewegungen der Magnetnadeln ungemein weiter Strecken, ja ganzer Erdtheile vorhergehen nnd welche von ihnen begleitet werden. Solche Störungen auf weite Strecken sind die sicheren Vorboten dieser wunderbaren und räthselhaften Erscheinungen, welche sich irgendwo und vielleicht auch am Tage über unserem Horizonte zeigen. Wir werden dieselben später zu erklären suchen.

Magnetisirung durch die Erde. Wenn man einem Pole eines natürlichen oder künstlichen Magneten einen Stab von weichem Eisen vorhält, so wird er nach dem Gesetze der Vertheilung zu einem Magneten; kehrt man den Stab um, so wird auch der Magnetismus umgekehrt. Da nun die ganze Erde sich wie ein Magnet verhält (nicht etwa ein solcher ist oder einen solchen in sich birgt, sogar wohl zwei, wie man geglaubt hat), so muß sie ebenfalls induzirend wirken und zwar am stärksten in der Richtung der Inklinationsnadel des Beobachtungsortes.

Hält man also einen 5 bis 6 Fuß langen Stab von ganz weichem Eisen, wie man ihn durch wiederholtes Ausglühen und langsames vorsichtiges Abkühlen erhält, unter dem Inklinationswinkel im magnetischen Meridiane mit dem unteren Ende nach Norden, so zeigt er sich sofort magnetisch, so zwar, daß das untere Ende den Nordpol einer Nadel abstößt, also selbst Nordpolarität besitzt und das obere Ende ihn anzieht. Kehrt man die Stange plötzlich um und bringt sie wieder in diese Lage, so nimmt sie dieselbe Polarität an, kehrt also die frühere um.

Hält man die Stange lothrecht auf dem magnetischen Meridiane, so zeigt sie keine Spur von Magnetismus; je mehr man sie aber in jene Lage bringt, desto mehr tritt er hervor. Ist die Stange zu kurz, so tritt die Polarität mit weniger Entschiedenheit hervor, was auch der Theorie nach nothwendig ist.

Auch eine eiserne Kugel wird magnetisch und ihre magnetische Axe ist parallel der Inklination, sie hat auch einen magnetischen Aequator. Man nennt solche Kugeln Terellen.

Ist die Stange nicht aus ganz weichem Eisen, so muß man sie länger in der Lage der Inklinationsnadel halten, ehe der Magnetismus erkannt wird; hat er sich aber in einem hinreichenden Grade ausgebildet und man gibt der Stange einige Hammerschläge auf das obere Ende, so setzt sich der Magnetismus in ihr fest; es ist, als ob die Massentheilchen in die neue, ihnen von der Erde gegebene Lage hineingerüttelt und nun darin festgehalten würden. Wir haben also einen bleibenden Magneten, durch den wir andere künstliche herstellen, dann aus allen eine magnetische Batterie bilden und so den Erdmagnetismus zur Anfertigung von beliebig starken Magneten verwenden können.

Es ist nun auch erklärlich, wenn man die im Freien lothreht angebrachten Eisenstangen magnetisch findet, z. B. die Stäbe an den Kreuzen auf Thürmen, die Ständer von eisernen Umzäunungen. — Für die Aufbewahrung eines Magnetstabes ist es angemessen, ihn nicht nur in den magnetischen Meridian, mit dem Nordpole nach Norden, sondern allenfalls noch schräge abwärts in die Lage der Inklinationsnadel zu bringen, damit die Erde fortwährend in dem richtigen Sinne vertheilend auf ihn wirke.

Eiserne Werkzeuge, wie Feilen, Sägen, Bohrer, Meißel, Hämmer u. dergl., mit denen man schlägt oder die man schlägt, werden durch den Einfluß des Erdmagnetismus leicht magnetisch. Wird eine rothglühende Eisenstange lothrecht oder besser noch in der Richtung der Inklination in kaltem Wasser abgelöscht, so bekommt sie einen ziemlich starken Magnetismus, wie wenn sie durch einen Magneten aus dem Feuer gezogen worden wäre, und zwar an dem unteren Ende den Nordpol, an dem oberen den Südpol. Die Wärme lockert nämlich die Massentheilchen des Eisens, der Erdmagnetismus oder der künstliche Magnet bringt sie dann in die magnetische Lage und in ihr werden sie bei dem schnellen Erstarren des Eisens festgehalten, so daß dauernder Magnetismus entsteht. Wird dagegen ein Magnet erwärmt, so können die Massentheilchen wegen der damit verbundenen Auflockerung aus der erzwungenen Lage leichter in die ihnen natürliche zurückkehren, d. h. der Magnetismus wird durch Wärme geschwächt. Daher bringt auch die Zunahme der Erdwärme eine Abnahme der magnetischen Kraft. Ein Stahlmagnet verliert seinen Magnetismus fast vollständig, wenn er in siedendes Mandelöl getaucht wird; wird nur das eine Ende erwärmt, so nähert sich die Indifferenzstelle dem anderen. Nadeln aus hartem Stahle erhalten eine Kraft auf die Dauer, wenn man sie wiederholt magnetisirt, nachdem man sie in Wasser bis etwa 40° C. erwärmt und dann in der Luft hat abkühlen lassen, wobei sie jedesmal weniger und zuletzt gar nichts mehr verlieren.

Wenn wir schlüßlich die bis jetzt von dem Wesen des Magnetismus, der statischen und der dynamischen Elektrizität gegebenen Anschauungen zusammenfassen, so leuchtet jetzt schon ein, daß Elektrizität nie vorhanden ist, ohne zugleich den Magnetismus in sich zu schließen. Die Spannungselektrizität ist an sich eigentlich schon der Magnetismus, indem die Molekel nach Vollendung eines Viertels der Schwingung festgehalten werden, nur daß beide durch verschiedenartige Körper gefesselt sind und zum Ausdruck gelangen, jene nämlich durch elektrische Nichtleiter (Harze, Glas), dieser durch magnetische Nichtleiter (Stahl). Die dynamische Elektrizität bewirkt in jedem ihre Bewegungen fortführenden Körper sofort den Magnetismus, weil die Schwingungen nicht um die ursprüngliche Gleichgewichtslage geschehen, sondern um eine erzwungene Viertelschwingungslage.

Bei der Beurtheilung des Verhältnisses zwischen Elektrizität und Magnetismus kommt es auf Dreierlei an: 1) auf die Weite der Hauptschwingung in ihrer festen Viertelslage; 2) auf die Weite der Nebenschwingung um die Lage der Hauptschwingung; 3) auf die Schwingungszahl der Nebenschwingung.

Die Stärke des Magnetismus hängt von der Weite der Hauptschwingung ab: sie muß unter übrigens gleichen Umständen bei der Säule größer sein, als bei der Kette und mit Vermehrung der Gliederzahl wachsen, weil jedes neue Kettenglied dieselbe zu vermehren sucht, wenn auch jedes folgende immer um weniger und weil der Leitungswiderstand in der Säule die nach und nach einmal erzwungene Elongation rückgängig werden zu lassen verhindert.

Mit der Weite der Schwingung wächst auch die erschütternde Wirkung auf unseren Organismus, besonders wenn weite Nebenschwingungen um eine weite Hauptschwingung stattfinden, wie bei vielen und großflächigen Ketten einer Säule. Der Magnetismus in der dynamischen Elektrizität aber erreicht seine größte Stärke, wenn bei einer möglichst großen Hauptschwingung die Weite der Nebenschwingung möglichst klein ist, weil der rückgängige Theil der Nebenschwingung die magnetische Spannungslage immer etwas vermindert. Die Vermehrung der Schwingungszahl einer Nebenschwingung von geringer Weite schwächt den durch eine große Hauptschwingung hervorgebrachten Magnetismus nicht wesentlich.

Weil in der einfachen Kette der Widerstand ein geringerer ist, so erlangen die Schwingungen zwar eine geringere Spannung, können aber rascher aufeinander folgen und erzeugen daher eher Wärme, Licht und chemische Wirkungen, zu denen eine sehr große Schwingungszahl gehört, als Magnetismus.

Sechster Abschnitt.

Wechselwirkung der Molekularschwingungen.

Wir kommen nun in ein erst in neuerer Zeit angebautes Gebiet der Physik, welches uns durch das Räthselhafte der Erscheinungen oft in das höchste Erstaunen versetzen muß. A. v. Humboldt sagt schon: „Je tiefer man eindringt in das Wesen der Naturkräfte, desto mehr erkennt man den Zusammenhang von Phänomenen, die, lange einzeln und oberflächlich betrachtet, jeder Anreihung zu widerstehen schienen.“ Die Physiker haben hier, angespornt durch den Reiz, welchen die Erforschung neuer Thatsachen darbietet und unterstützt durch die ausgezeichneten Leistungen der Mechaniker, mit dem unermüdlichsten Fleiße ein wahrhaft erdrückendes Material angehäuft; sie haben aber auch herrliche Resultate für das praktische Leben erzielt, welche in kulturhistorischer Beziehung einzig in der Geschichte der Menschheit dastehen werden, denn der Gedanke braucht kaum noch Zeit und Raum, um in großen Entfernungen zur That zu werden.

Der Dampf und die Elektrizität sind geeignet, die materielle Arbeit mehr der Natur zu überlassen und den Menschen seiner geistigen Ausbildung zuzuführen, sie sind bestimmt, die Schranken zwischen den Nationen niederzuwerfen und die Menschheit als Ganzes ihrem Ziele schneller zuzuführen.

Es sind eine Menge von Thatsachen aufgefunden worden, welche den inneren Zusammenhang scheinbar sehr verschiedener Erscheinungen, wie des Schalles, des Lichtes, der Wärme, der Elektrizität und des Magnetismus außer allem Zweifel setzen und wir können zu den meisten von ihnen noch den Chemismus fügen, welcher die Vermittelung von der Atombewegung zur Molekular- und von dieser zur Massenbewegung macht. Es muß uns reizen, nicht nur diesen Zusammenhang äußerlich kennen, sondern ihn auch seiner Natur nach erforschen zu lernen. Das Feld ist zwar ein sehr umfangreiches, wenn wir bedenken, daß jede der obigen Erscheinungen nicht nur sich selbst erzeugen kann, gewissermaßen als Resonanz oder Echo, sondern jede auch fast jede andere; wir wollen uns aber mit dem Hauptsächlichsten begnügen und besonders die praktische Seite im Auge behalten.

Wie wir im ersten Bande dieses Werkes mancherlei Umwandlungen der Bewegungsarten bei Massen kennen gelernt haben, welche bedingt waren durch die Form der Massentheile und die Zeit ihres Eingreifens ineinander; so werden wir jetzt eine durch die Gestalt der Atome und der Atomgruppen und durch die beschleunigende oder verzögernde Natur der betreffenden Stoffe hervorgebrachte Umänderung der Schwingungsarten kennen lernen. Denn wenn z. B. die Wärme fähig ist, Schall

oder Elektrizität hervorzubringen, oder wenn Licht, Wärme u. a. durch den Chemismus erzeugt werden; so geschieht dabei nur eine Umwandlung der Bewegungsart und nicht eine Stoffumwandlung oder Erzeugung eines neuen Stoffes, worauf nicht oft genug hingewiesen werden kann, um nicht falsche Vorstellungen aufkommen zu lassen oder noch gangbare anzunehmen. Jenachdem die Molekel grade oder schiefe, zentrale oder exzentrische Stöße erhalten, werden sie theils fortschreitende, theils drehende, theils drehende und fortschreitende Schwingungsbewegungen annehmen müssen, deren Stärke sich nach Entfernung, Gestalt, Lage und materiellen Beschaffenheit der Atome richten werden.

Weil die hierher gehörigen Erscheinungen so mannigfach ineinander eingreifen, wird es seine Schwierigkeiten haben, eine gewisse systematische Ordnung festzuhalten; wir wollen indeß uns möglichst an die Aufeinanderfolge der vorigen Abschnitte anzuschließen suchen, in denen wir bereits durchgeführt haben, daß jede von den genannten Erscheinungen an einem Körper durch Vermittelung eines Zwischenstoffes, und wenn es auch nur der Weltäther ist, an einem zweiten Körper dieselbe Erscheinung hervorbringen kann.

I. Schall erzeugt Wärme und Elektrizität und hat Einfluß auf Lichterscheinungen.

1. Es ist bekannt, daß die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft in dieser abwechselnd aufeinanderfolgende hohlkugelförmige Verdichtungs- und Verdünnungswellen hervorbringt und daß die Verdichtung der Luft eine Erhöhung, die Verdünnung eine Erniedrigung der Temperatur erzeugt. Diese Veränderungen erfolgen aber so außerordentlich schnell aufeinander, daß sie auf das Thermometer gar keinen Einfluß haben können; sie sind aber von Einfluß auf die theoretische Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles in der Luft, welche ohne sie fast um $1/6$ kleiner gefunden wird, als die beobachtete. Wenn die Verdichtung bei der Fortpflanzung des Schalles nicht zugleich mit Wärmeentwickelung verbunden wäre, so würden die Dünste, wenn durch sie allein ein Schall fortgepflanzt wird, zum Theil kondensirt werden, was nicht der Fall ist. — Etwas anderes ist es, wenn der schallende Körper selbst, z. B. eine anhaltend tönende Glocke, einen höheren Temperaturgrad annimmt, weil hier bei den Schwingungen der Massentheilchen eine Reibung derselben aneinander stattfindet.

2. Interessant ist es und zugleich wichtig für unsere Auffassung von dem Wesen der Elektrizität, daß sich an den Knotenlinien der Klangfiguren Spuren von Elektrizität zeigen. Da die Knotenlinien nur dadurch entstehen, daß die entgegengesetzten Querschwingungen benachbarter Flächentheile nach diesen Linien hin immer kleiner werdende Elongationen machen, so müssen die genau in der Mitte der Linien liegenden Molekel um ihre Gleichgewichtspunkte schwingen, wobei die eine Hälfte

mehr jenseits, die andere gleichzeitig mehr diesseits ihrer Ruhelage sich befinden wird. Dieses waren elektrische Schwingungen.

Durch Tonschwingungen werden auch dann elektrische erzeugt, wenn eine tönende Saite aus zwei verschiedenen Metallen, wie Messing und Eisen besteht und die Verbindungsstelle nicht an einem Knotenpunkte liegt Durch den verschiedenen Widerstand der beiden Metalle gegen die Tonschwingungen werden die Molekel der Saite zu den zusammengesetzten elektrischen Schwingungen angeregt.

3. Schallschwingungen bringen auch eine bemerkenswerthe Lichterscheinung hervor. Eine gewöhnliche Glasscheibe im Ruhezustande läßt durch sich einen einfachen Gegenstand auch einfach erkennen; wird sie aber durch Längenschwingungen zum Tönen gebracht, so ist sie doppelt brechend, d. h. sie zeigt z. B. einen einfachen Punkt doppelt. Der alle Körper durchdringende Weltäther nimmt nämlich theil an den Schwingungen der Molekel, wodurch lothrecht auf der Gesichtslinie oder vielmehr auf der Ebene der Glastafel stehende Verdichtungs- und Verdünnungswellen entstehen. Hat aber der das Licht fortpflanzende Weltäther in einem Körper eine verschiedene Dichtigkeit nach verschiedenen Richtungen, so zeigen sich wie beim Doppelspathe von einem Gegenstande zwei Bilder.

4. Schallschwingungen sind nicht ganz ohne Einfluß auf die Atombewegungen der Körper, denn sie sind imstande, die in konzentrirten Lösungen enthaltenen Stoffe auszuscheiden und zum Krystallisiren zu bringen.

II. Licht bringt hervor Wärme, chemische Verbindungen, welche zum Theil mit Explosionen verknüpft sind, ferner Magnetismus und ist auch der Elektrizität nicht fremd.

1. Die Untersuchungen über die Zurückwerfung und namentlich über die Brechung des von der Sonne ausgehenden Lichtes haben den Beweis geliefert, daß sich das Licht von der strahlenden Wärme nur durch die verschiedene Anzahl von Schwingungen des Weltäthers unterscheidet: vor dem Roth in dem Farbenbilde des Glasprismas ist eine größere Wärme, als in diesem selbst und in den folgenden Farben mit wachsender Schwingungszahl; also ist die strahlende Wärme weiter nichts, als dunkles Licht, welches wegen seiner allzugeringen Schwingungszahl nicht mehr fähig ist, auf unser Auge einen wirksamen Eindruck zu machen. Es ist natürlich, daß die strahlende Wärme um so leichter durch einen Körper, wie eine Glasscheibe, zu dringen vermag, je mehr sie sich dem leuchtenden Zustande nähert, d. h. je energischer sie wegen Vergrößerung ihrer Schwingungszahl wirkt. Von unseren geheizten Oefen wird also durch die Fensterscheiben nur wenig von der strahlenden Wärme dringen können; wären die Scheiben farbig, so würde noch weniger Wärme durchdringen, sie selbst aber würden mehr erwärmt werden.

Lassen Körper die Sonnenstrahlen leicht durch, d. h. werden die Aetherschwingungen durch die Körper wenig gehemmt, so werden diese auch wenig erwärmt. Der Grad der Hemmung hängt von der materiellen Beschaffenheit, Dicke, Farbe und Politur der Körper ab. Weingeist wird in einem weißen Glase selbst durch den stärksten Brennspiegel nicht entzündet und überhaupt weiße Körper schwer und in dem Brennpunkte eines Brennglases kann man wohl Gold schmelzen, nicht aber Wasser zum Kochen bringen.

Da das Steinsalz die Wärmestrahlen größtentheils durchläßt, so ist es sehr natürlich, daß das durch ein Steinsalzprisma erhaltene Sonnenbild eine vom Roth nach dem Violett abnehmende Wärme zeigt. Je größer nämlich die Schwingungszahl des Weltäthers wird, desto weniger zeigt er die Erscheinung der Wärme, gleichwie bei Tönen durch die Zunahme der Schwingungszahl des tönenden Körpers die Wahrnehmung des Tones mehr und mehr verschwindet. Dies zeigt zugleich und wird durch die Beobachtungen der Wärmestrahlen, welche von irdischen Wärmequellen ausgehen, bestätigt, daß das Brechungsvermögen mit Zunahme der Schwingungszahl, d. h. der Temperatur, wächst. Die energischere Kraft muß auch eine energischere Wirkung hervorbringen.

Es gibt nur wenige Körper, welche eine ziemlich scharfe Absonderung von Licht- und Wärmestrahlen hervorbringen. Nur Lichtstrahlen gehen durch Wasser, welches sich zwischen mit Kupferoxyd grün gefärbten Gläsern befindet; nur Wärmestrahlen gehen durch schwarzes Glas und schwarzen Glimmer.

Je mehr die Lichtschwingungen als solche in einem Körper vernichtet und die Wärmestrahlen in ihrem Fortgange gehemmt werden, desto eher und desto mehr wird der Körper erwärmt. Ist die Oberfläche eines Körpers rauh, so können die Aetherschwingungen besser in sein Inneres dringen, als wenn er eine glatte Oberfläche hat, welche die Schwingungen zurückwirft. — Da ferner die Lichtschwingungen um so mehr vernichtet werden, je dunkler ein Körper ist, so muß die Erwärmung eines Körpers mit der tieferen Farbe zunehmen. Man kann in einem Kasten aus starkem Holze, welcher innerhalb recht gut geschwärzt und durch eine weiße Glasscheibe geschlossen ist, eine größere Temperatur, als die des kochenden Wassers hervorbringen, wenn man die Sonnenstrahlen lothrecht auffallen läßt. — Setzt man endlich verschiedenartige Körper, z. B. verschiedene Metalle, Steine, Holzarten den Sonnenstrahlen im Freien auf gleiche Weise aus, so werden sie in sehr verschiedenem und oft sehr bedeutendem Grade erwärmt, wie u. a. das Eisen und schwarze Steine. Das Basalttrotoir in New-York wird zu Mittag im Hochsommer so heiß, daß die Wärme sehr bald durch dicke Stiefelsohlen dringt, wenn man kurze Zeit stehen bleibt.

Die Erklärung dieser Erscheinung hat wohl keine große Schwierigkeiten. Da nämlich der Weltäther alle Körper durchdringt, so wird er

gleichzeitig mit den auf sie äußerlich ankommenden Schwingungen ebenfalls in solche Bewegungen versetzt. Wenn er nun auch ein außerordentlich zarter Stoff ist (Bd. I. S. 18), so wird wegen der ungeheuer großen Schwingungszahl sein Bewegungsmoment nicht ganz unbedeutend und sehr wohl imstande sein, die von ihm umgebenen Molekel des irdischen Körpers durch die fortdauernde Einwirkung in schwingende Bewegung zu versetzen und so die Temperatur bis zu einer gewissen Höhe zu steigern, welche auch noch von der Beschaffenheit und Leitungsfähigkeit der umgebenden Körper abhängig ist. Wird also Licht durch dunkle Körper, wie man zu sagen pflegt, verschluckt und in dunkle Wärme verwandelt, so will dies nichts weiter sagen, als: die äußerst raschen Schwingungen des Aethers werden in langsamere der Molekel der irdischen Körper verwandelt.

Die Verbindung von Licht- und Wärmeschwingungen zeigt sich bei irdischen Körpern wesentlich in zwei Fällen, nämlich beim Glühen und bei den Flammen.

Wenn Körper bei einer höheren Temperatur sich nicht in Gase verwandeln und also nicht flüchtig werden, sondern feuerbeständig sind, wie die meisten Metalle, die Kohle u. a., so senden sie Licht- und Wärmestrahlen aus und glühen blos; wenn sie aber durch das Erhitzen sich in brennbare Gase verwandeln oder selbst dampfförmig werden, so verbrennen sie mit Flamme, d. h. es bilden sich leuchtende und wärmende flüchtige Stoffe über dem Körper innerhalb einer gewissen Gränze.

Wenn aus den Steinkohlen, dem Holze und anderen brennbaren Körpern durch die trockene Destillation (Bd. II. S. 242) die flüchtigen Bestandtheile entfernt worden sind, so können die rückständigen Kohlen (Koaks) nur noch glühen mit einer kleinen bläulichen Flamme und bedürfen dazu eines ziemlich lebhaften Luftzuges. Das Glühen ist ein Verbrennen ohne Flamme und bei niedrigerer Temperatur. Glühen Metalle, so bildet sich an ihrer Oberfläche eine Oxydschicht, welche beim Hämmern funkensprühend leicht abspringt.

Wenn man ein spiralförmig gewundenes Platindrähtchen oder auch einen kleinen Zylinder aus feinem Platindrahtgewebe glühend gemacht hat, so dauert das Glühen fort, wenn aus einem darunter befindlichen Dochte einer kleinen Weingeistlampe die Dämpfe aufsteigen, an dem Drahte verbrennen und so grade nur das Glühen zu unterhalten vermögen. Dies ist das Glühlämpchen von Davy. Bei Aether bildet sich ein blaues und nicht zündendes Flämmchen, welches verschwindet, wenn die Platina roth glüht.

Eine merkwürdige Verbindung von Licht und Wärme gibt die Flamme, welche nach den verschiedenen Brennstoffen eine sehr verschiedene Beschaffenheit, Wärme, Farbe und Leuchtkraft hat. Der jedesmalige Zweck wird die Mittel bestimmen, deren man sich zu bedienen hat. Das lebhafte Brennen hängt nicht blos von der Zuführung vielen

Sauerstoffes, also eines lebhaften Zuges von atmosphärischer Luft ab, sondern auch von der Temperatur dieser Luft; denn je wärmer sie bei der Berührung mit der Flamme ist, desto eher unterhält sie dieselbe, während ein Uebermaß von kalter Luft die Flamme entweder auslöschen oder einen Theil derselben so abkühlen würde, daß eine Menge feiner Kohlentheilchen als Rauch verflüchtigt werden würde, ohne zu verbrennen. Die Rauchbildung findet natürlich auch statt, wenn der Flamme der nöthige Sauerstoff nicht in hinreichendem Maße zugeführt wird.

Je dichter ein verbrennender Körper ist, desto heller ist die Flamme und wenn feste Körper, wie Kalk, Platin in ihr glühend werden, so ist die Lichtstärke bisweilen sehr bedeutend. Werden dem brennenden Körper verschiedene Stoffe beigemischt, so bekommt die Flamme verschiedene Farben. Wenn der Docht einer Weingeistlampe Chlorstrontium enthält, so ist die Flamme karminroth; enthält er Chlorkupfer, so ist sie smaragdgrün; wenn man zwei solche Dochte zusammenwindet, so ist die Flamme weiß. Ebenso können auch andere Ergänzungsfarben in der Flamme miteinander verbunden werden.

Die einfachste Flamme wird durch brennendes Wasserstoffgas gebildet. Strömt dasselbe aus einer kreisrunden Oeffnung, so brennt von dem ausströmenden Gaszylinder nur die äußere Hülle mit einer blaßblauen Flamme, während der innere Kern anfänglich unverbranntes Gas ist, was man erkennt, wenn man in die Flamme ein feines Drahtnetz horizontal hält; denn in der Mitte zeigt sich ein dunkler Kreis, in welchem auch leicht brennbare Körper nicht verbrennen und um ihn ist ein leuchtender Ring, wo sich das Wasserstoffgas mit dem Sauerstoffe verbindet. Weil diese Verbindung nach obenhin zunimmt, wird die Flamme zugespitzt, so daß alles Gas verbrennt.

Das aus den Steinkohlen erhaltene Gas wird theils zur Beleuchtung, theils zur Beheizung verwendet. Sein wichtigster Bestandtheil ist das ölbildende Gas, welches eine Verbindung von Kohlenstoff und Wasserstoff ist und so genannt wird, weil es in Verbindung mit Chlor eine ölartige Flüssigkeit gibt. Auch die Flammen unserer Oellampen und Kerzen bestehen zunächst um das Docht aus diesem Gase, welches innerhalb der Flamme durch Zersetzung eine große Menge von feinzertheiltem Kohlenstoffe abscheidet, durch dessen Glühen die Helligkeit der Flamme hervorgebracht wird.

Soll die Flamme des Leuchtgases zur Erleuchtung dienen, so darf die Oeffnung, aus welcher es zufolge eines gewissen Druckes ausströmt, weder zu groß, noch zu klein sein. Ist die Oeffnung zu groß, so kommt das Gas mit zu wenig atmosphärischer Luft in Berührung, ein Theil des Kohlenstoffes bleibt unverbrannt und setzt sich als Ruß ab, so daß die Flamme blackt, ohne hell zu leuchten. Ist die Oeffnung zu klein, so geht die Verbrennung allzurasch vonstatten, so daß der sämmtliche Kohlenstoff verbrennt, ohne vorher zu glühen und dadurch zu leuchten.

Die Gestalt und die Lichtstärke der Flamme hängt wesentlich noch von der Form der Brennöffnung in dem Brenner und von der Geschwindigkeit des ausströmenden Gases ab. Brenner von Porzellan oder von Speckstein sind besser, als die von Metall, weil bei dem letzteren die Oeffnungen sich nach und nach ausbrennen und erweitern.

Der Einlochbrenner mit einer Oeffnung von 1/15 Zoll gibt eine spindelförmige nicht sehr helle Flamme, welche unten bläulich und sehr dünn ist und auch oben spitz zulauft. Der Dreilochbrenner enthält drei nach obenhin divergirende nahe bei einander befindliche Oeffnungen. Bei dem Fischschwanzbrenner münden in einen Ausschnitt zwei gegeneinander geneigte feine Oeffnungen, aus welchen das Gas so austritt, daß die beiden Flammen in der Mitte zusammentreten und einen schmalen Fächer mit zwei Spitzen bilden. Der dunkle Kern in der Mitte ist hierbei unbedeutend und die leuchtende Hülle hat eine große Ausdehnung. Der Fledermausbrenner besteht aus einem runden hellen Knopfe mit einem Schlitze für das ausströmende Gas, dessen flache Flamme eine größere Ausdehnung und oben vier Spitzen mit drei Austiefungen dazwischen hat. Bei dem Argandbrenner tritt das Gas in einen hohlen Ring, dessen Deckplatte 1/32 Zoll weite und 1/8 Zoll von einander entfernte Oeffnungen hat. Die einfachen Strahlen verbinden sich zu einer zusammenhängenden und dünnen zylinderförmigen Flamme von großer Leuchtkraft. Der Zug wird auch hier, wie bei den gewöhnlichen Oellampen durch einen Glaszylinder befördert.

Die Geschwindigkeit des ausströmenden Gases hängt von dem Drucke im Gasometer und von der Entfernung des Brenners von ihm ab, denn der mit der wachsenden Länge der Röhren wachsende Reibungswiderstand vermindert die Geschwindigkeit des darin fließenden Gases bei einem bestimmten Drucke des Gasometers. Bei dem meist vielseitigen und ungleichmäßigen Gasverbrauche muß man sich durch das Drehen der Hähne in der Nähe der Brenner zu helfen suchen, wobei ein mit Zischen verbundenes Ausströmen stets zu vermeiden ist.

Schon die alltägliche Erfahrung beweiset uns, daß bei dem Verbrennen des Leuchtgases, während es zur Beleuchtung dient, eine nicht unbedeutende Wärme entwickelt wird. 100 Kubikfuß Leuchtgas geben eine so große Wärme als 5,6 Pfund Holzkohle, 13 Pfd. trockenes Holz oder 5,6 Pfd. Steinkohle (6 Pfd. Koaks). Man kann mit 100 Kubikfuß Leuchtgas fast 200 Kilogramme Wasser von 0° auf 100° C. erwärmen, so daß es beinahe 20000 Wärmeeinheiten entwickelt. Wenn man das aus einem gewöhnlichen Brenner strömende angezündete Gas zum Erhitzen eines Gegenstandes benutzen wollte, so würde man einen Verlust erleiden, weil sich Ruß absetzt, welcher überdies unangenehm ist; es wird daher vortheilhafter, dem Gase die Leuchtkraft zu nehmen, indem man es unmittelbar vor der Entstehung der Flamme mit atmosphärischer Luft hinreichend versieht, so daß es nur eine blaßblaue Flamme gibt,

ohne daß von seiner Wärmekraft etwas verloren geht. Zu diesem Zwecke sind besondere Brenner nothwendig. Der elsnersche Brenner besteht aus einem zylindrischen oder prismatischen Kasten mit einigen Seitenöffnungen und mit einem feinen Drahtnetze als Decke; in dem Inneren mündet ein Gasausströmungsrohr mit einer Menge unter dem Drahtnetze ziemlich gleich vertheilter Oeffnungen. Das angezündete Gasgemisch brennt dann mit mattblauer Farbe über dem ganzen Netze gleich vertheilt und gibt eine bedeutende Hitze. — Bei dem bunsenschen Brenner ist an der Spitze des Gasausströmungsrohres ein hohler und an seinen vier Seiten durchbrochener Metallwürfel angebracht, um das Gas mit atmosphärischer Luft zu vermengen. Das Gemenge strömt nun in eine darüber befindliche und sich dicht anschließende zylindrische Röhre von Speckstein, welche sich nicht so sehr erhitzt, als Metall. Bei gehöriger Regulirung der zuströmenden Luft brennt oben die blaue Flamme ruhig, ohne in das Rohr zurückzuschlagen und gibt eine bedeutende Hitze, welche durch Anwendung mehrer Brenner außerordentlich gesteigert werden kann.

Man hat noch Gebläselampen, bei denen ein Strom von Luft durch die Gasflamme geleitet werden kann, um zu löthen, Metalle zu schmelzen, Glas zu formen u. s. w.

Es ist natürlich, daß man nach diesen Grundsätzen in bewohnten Räumen förmliche Gasheizöfen anbringen kann, welche sich, wenn man das Gas durch Guttaperchaschläuche zuleitet, leicht von einem Orte nach einem anderen bringen lassen. Außerdem läßt sich das Gas zu vielen häuslichen Zwecken, z. B. zum Kaffeebrennen, Heißmachen von Bügeleisen, Brenneisen u. a. mit Vortheil verwenden.

Viel zusammengesetzter ist die Flamme, welche aus flüssigen und festen Brennstoffen entwickelt wird. Hier müssen diese Stoffe durch Wärme erst in den gasigen Zustand verwandelt werden, ehe aus diesen die Flamme entsteht. Hier ist die Gasbereitung und die Gasverbrennung an demselben Orte und findet unmittelbar hintereinander statt.

An einer Kerzenflamme lassen sich vier Theile unterscheiden: 1) der innere Kegel, welcher die aus dem Dochte aufsteigenden Destillationsprodukte in Gasform, aber in jeder Höhe desselben in einer anderen Zusammensetzung enthält, weil sich bei dem Eintritte der äußeren Luft immer mehr Verbrennungsprodukte bilden. 2) Die leuchtende Hülle um den Kegel, wo sich der Sauerstoff der Luft mit den brennbaren Stoffen desselben mehr und mehr verbindet, so daß der innere Kegel abgespitzt, die leuchtende Hülle nach obenhin erweitert wird und dann auch spitz zulauft, um dort die schwerer brennbare Kohle verbrennen zu lassen. 3) Die untere blaue nicht weit hinauf reichende Hülle, in welcher die geringere Hitze eine Verbindung des Kohlenstoffes mit dem eintretenden Sauerstoffe noch nicht gestattet. 4) Eine matt leuchtende

Außenhülle, welche aus glühender Luft und den letzten Verbrennungsprodukten der Flamme besteht.

Wie die verschiedenen Theile der Flamme mittelst des Löthrohres bald zur Oxydation, bald zur Desoxydation oder Reduktion benutzt werden, ist der Hauptsache nach bereits Bd. I. S. 252 angeführt worden.

Soll ein Feuer gelöscht werden, so muß man ihm die Bedingungen des Weiterbrennens oder des Brennens überhaupt entziehen. Man wird also zunächst das Feuer auf den Herd seiner Entstehung zu beschränken suchen, indem man aus seiner Umgebung alle feuerfangenden Gegenstände entfernt, was zum Theil mit der Zerstörung von benachbarten Baulichkeiten verbunden ist. — Ferner muß man das Feuer selbst abkühlen. Das beste Mittel dazu ist das Wasser wegen seiner bedeutenden Wärmekapazität (Bd. II. S. 117). Wenn man aber das Wasser in kleinen Mengen und fein zertheilten Strahlen in eine bedeutende Gluth verspritzt, so ist dieses nicht blos erfolglos, sondern sogar nachtheilig, weil es in seine beiden Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff, zersetzt wird, welche die Verbrennung befördern und die Gluth erhöhen, wie es ja jeder Schmied weiß, indem er mit einem Lappen oder Pinsel auf die glühenden Kohlen von Zeit zu Zeit etwas Wasser spritzt. Man muß also je nach der Stärke des Feuers einen hinreichend dicken Strahl anhaltend auf dieselbe Stelle der Brandstätte leiten. — Ein weiteres Mittel zur Dämpfung eines Feuers besteht darin, daß man ihm das Zuströmen von Sauerstoff entzieht. Man kann die brennbaren Sachen selbst schon durch einen Ueberzug gegen das Feuerfangen schützen oder sie in einen Zustand versetzen, daß sie ohne Flamme verbrennen. Leinwand, Gaze, Musselin u. dergl. Stoffe, welche man zu Bekleidungen oder Zimmerdekorationen verwendet, zieht man durch eine nicht zu sehr gesättigte Alaunauflösung, oder durch Salzsoole und läßt sie dann trocknen; andere brennbare Körper, wie Holz, Pappdeckel, Papier, kann man mit Wasserglas überstreichen oder sie in eine Auflösung von Eisenvitriol, Borax u. a. bringen; Gebälk läßt sich mit einem Anstriche von Thon oder Gyps und Sand versehen. — Ist die Flamme nicht groß, so kann man ihr den Sauerstoff durch schnelles Bedecken mit Sachen entziehen. — Ist eine größere Flamme in einem Raume, welcher abgesperrt werden kann, so verschließt man alle Zugänge möglichst sorgfältig und überläßt das Feuer sich selbst, welches dann verlischt, wenn aller Sauerstoff aufgezehrt wird. — Endlich besteht ein Mittel zum Löschen eines Feuers in einem abgeschlossenen Raume darin, daß man plötzlich Gase entwickelt, welche das Brennen unterdrücken Dieses Mittel ist besonders bei solchen Flammen zu empfehlen, welche sich durch Wasser nicht löschen lassen, wie von Oel, Pech, Terpentin, den Harzen, Spiritus u. dergl. und besteht aus einem Gemenge von Schwefel, Salpeter und Kohle, wie es in den Bucherschen Feuerlöschdosen enthalten ist, welche sich leicht anzünden lassen und der Vorsicht wegen in solchen

Räumen aufgestellt werden können. Da die plötzlich sich entwickelnden Gase ohne Gefahr für die Gesundheit nicht geathmet werden können, so darf man den Raum, in welchem auf diese Weise das Feuer gelöscht worden ist, nicht betreten, ohne ihn vorher gehörig gelüftet zu haben.

2. Nachdem wir mit dem Lichte die Wärme in Verbindung gebracht haben, wollen wir nur noch Weniges über die chemischen Wirkungen der Aetherschwingungen zu dem ergänzen, was Bd. II. S. 204 darüber bereits gesagt worden ist. Das Licht gehört zu den Lebensbedingungen organischer Geschöpfe: Pflanzen und Menschen sind ohne Einwirkung des Lichtes blaß und farblos; die in Zimmern gezogenen Pflanzen strecken ihre Zweige stets nach dem Lichte aus und wenden ihre Blätter so, daß die Lichtstrahlen ihre obere Fläche möglichst lothrecht treffen. Die Pflanzen erhalten nur dann den ihnen angemessenen Antheil an Kohlenstoff, wenn das Licht, namentlich das unmittelbare Sonnenlicht, gehörig auf sie einwirken kann. — Das Licht verändert bei vielen Gegenständen die Farben (unächte Farben) oder entzieht ihnen die Färbung und macht sie weiß. Darauf beruht das Bleichen verschiedener Stoffe. Der im Wasser unlösliche Farbestoff der durch weiches Wasser naß gemachten Zeuge verbindet sich unter dem Einflusse des Lichtes mit dem Sauerstoffe und wird dadurch löslich, so daß er durch das Waschen leicht entfernt werden kann.

Sind die Sonnenstrahlen durch Körper gegangen, in denen sie bereits eine chemische Wirkung hervorgebracht haben, so ist ihnen die Eigenschaft, ferner in gleicher Weise noch chemisch zu wirken, verloren gegangen. Wenn das Licht durch ein dünnes Blättchen von blaßgrünem Glase oder Glimmer gegangen ist, so schwärzt es Chlorsilber nicht mehr, wohl aber, wenn es durch violettes oder blaues (auch weißes) Glas oder durch Steinsalz gegangen ist. Die rascheften Aetherschwingungen sind in jenem Falle gehemmt worden, in diesem nicht. — Das Licht scheidet aus den oxydirten Körpern den Sauerstoff wieder aus: läßt man Sonnenlicht durch Chlorwasser gehen, so entwickelt sich Sauerstoff. — Ebenso bewirkt das Licht Reduktionen, denn es schlägt z. B. Gold aus manchen Auflösungen nieder; Goldchlorid wird durch das Licht in metallisches Gold und Chlor zerlegt. — Haben Lichtstrahlen irgendeine chemische Wirkung vollbracht, so sind sie in ihrem weiteren Fortgange unfähig, dieselbe Wirkung noch einmal hervorzubringen: die in den Aetherschwingungen vorhanden gewesene lebendige Kraft ist als Licht vernichtet und in eine chemische Bewegung umgewandelt worden.

3. Licht kann zwar auch einen Schall hervorbringen, aber nicht unmittelbar, sondern indem es entweder eine chemische Verbindung erzeugt, welche von einem Schalle begleitet ist, wie die Detonation bei der plötzlichen Vereinigung von Chlorgas und Wasserstoffgas oder indem es Wärme entwickelt, welche, wie wir erkennen werden, unter Umständen

Töne hervorbringt. Die Aetherschwingungen bringen im ersten Falle Atombewegungen mit einer bedeutenden Raumerweiterung der betreffenden Stoffe, im zweiten Falle aber unmittelbar schwingende Molekularbewegungen hervor.

4. Daß das Licht auch Magnetismus hervorzubringen imstande sei, ist zwar angezweifelt, aber noch nicht widerlegt worden. Wird die eine Hälfte einer Stahlnadel dem blauen oder violetten Lichte des farbigen Sonnenbildes ausgesetzt, oder umhüllt man die eine Hälfte der Nadel mit blauem Papiere oder läßt man nur die eine Hälfte bescheinen, während die andere bedeckt ist, oder polirt man die eine Hälfte, während die andere rauh bleibt und setzt die Nadel auch dem Sonnenlichte aus; so wird sie in der Art magnetisch, daß die betreffende Hälfte die Nordpolarität bekommt und im letzten Falle sogar unter Wasser.

Der Lichtbogen des elektrischen Kohlenlichtes hat auf die Magnetnadel dieselbe Wirkung, wie die elektrische Bewegung im Schließungsdrahte selbst.

5. Wenn auch das Licht noch nicht in eine solche unmittelbare Beziehung zur Elektrizität gebracht worden ist, daß wir es als eine bedeutende Quelle derselben ansehen können, so ist die Vermittelung beider doch durch den Magnetismus gegeben, da durch letzteren Elektrizität erzeugt werden kann. Wenn man von zwei reinen Platinblechen in einer Säure das eine dem Lichte, namentlich dem blauen, aussetzt, so zeigt sich dieses Blech positiv elektrisch, wie es durch den später zu erwähnenden Multiplikator nachgewiesen werden kann.

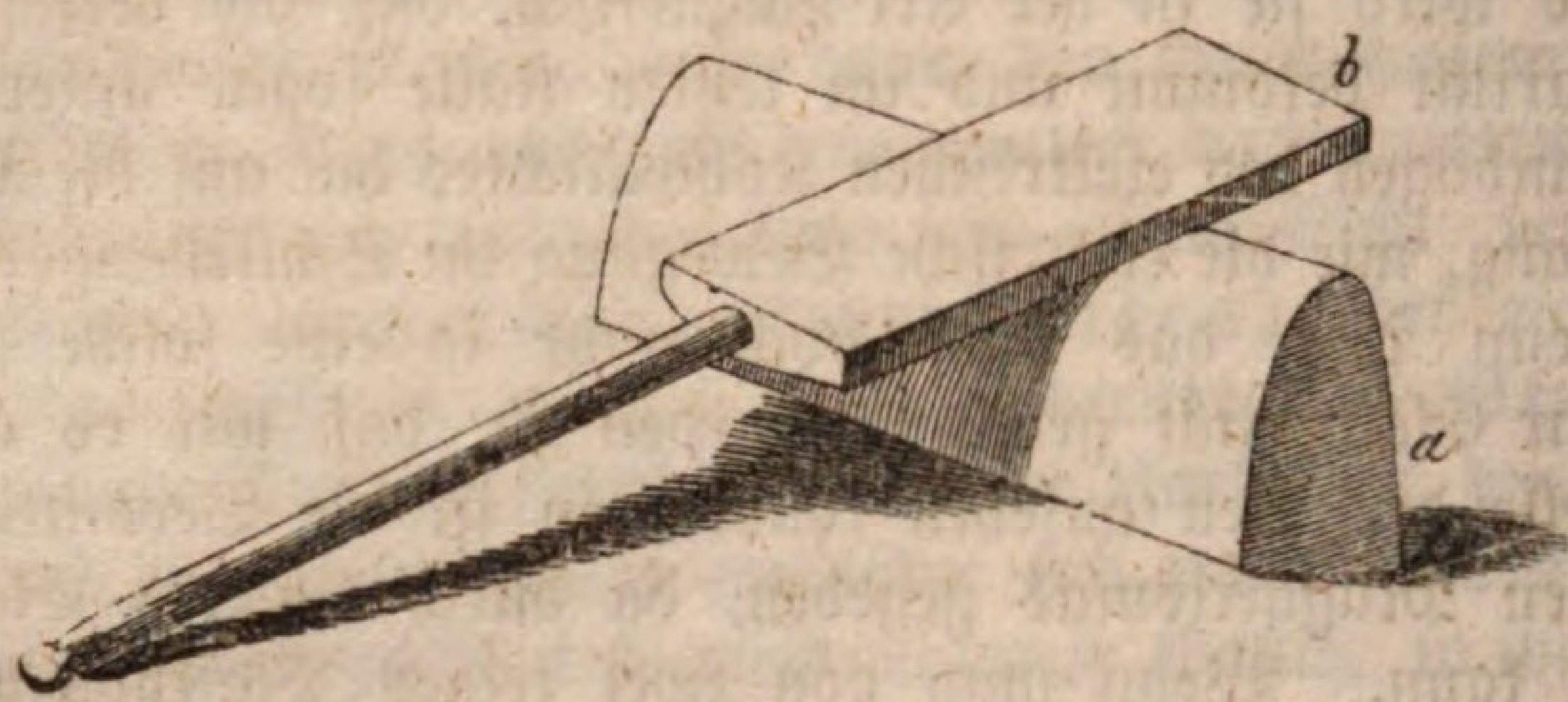
III. Die Wärme, welche in Schwingungsbewegungen der Molekel eines Körpers besteht, ist eine der wichtigsten Quellen für die übrigen Molekularbewegungen und erzeugt auch Aether- und Atombewegungen, indem sie Licht und chemische Thätigkeiten veranlaßt.

1. Zunächst erzeugt sie Schall, zu welchem die geringste Anzahl von Molekularschwingungen eines Körpers gehört. Hierher gehören die bereits im Alterthume berühmten Klänge der aus Quarzit bestehenden Memnonssäule, welche sie vernehmen ließ, wenn die Sonne auf sie schien; ferner die Klänge des musikalischen Glockenberges auf der Halbinsel Sinai am Rothen Meere, wobei der ganze steile Hügel mit seinem glänzenden Quarzsandsteine zu beben scheint und der Sand unter den Füßen erzittert. Aehnlich verhält es sich mit dem Gebel Nakus in Arabia Peträa und der Reg-Rawan bei Kabul. — Der trockene lose Orlolithsand auf der Insel Eigg an der Westküste Schottlands in der Bai von Laig tönt zwar auch bei Sonnenschein, aber, wie es scheint, nur beim Gehen und um so besser, je feuchter die tiefere Schicht ist; aber ich erlaube mir nicht darüber zu entscheiden, ob die Erscheinung hierher gehört oder zu den durch bloße Reibung hervorgebrachten Tönen, wie sie Bd. II. S. 135 angeführt worden sind. Dagegen sind die von Alexander v. Humboldt am Ufer des Orinoko an den Granitfelsen beobachteten Töne zu diesem Gebiete zu rechnen. Ebenso vernimmt man

Töne, wenn man eine kleine Menge geschmolzenen Silbers auf einen kalten Ambos gießt.

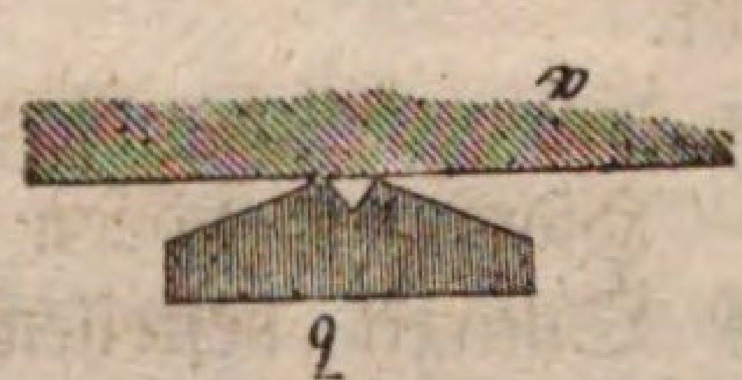
Setzt man einen leeren, durch eine Spiritusflamme erhitzten Tassenkopf von Porzellan mit seinem schmalen hervorstehenden Bodenrande auf die kalt gelassene Untertasse, so entsteht ein heftiges Vibriren oder es erfolgen lauter schnell aufeinander folgende Stöße in gleichen Zeittheilen. Wären die Stöße noch schneller, so würden sie einen Ton geben, wie es bei dem tartinischen Tone (Bd. II. S. 155) der Fall war.

In der That läßt sich diese überraschende Erscheinung durch ein ganz einfaches Instrument, das Termophon oder Trevelyan-Instrument, hervorrufen.



(Fig. 401.)

In Fig. 401 ist a ein oben abgerundeter länglicher Bleikörper, welcher auch auf zwei Messingfüßen ruhen könnte; b ist ein an einem Stiele von Holz befestigter prismatischer Messingkörper, von welchem der eine siebenseitige Figur darstellende Querschnitt in Fig. 402 abgebildet ist. Die Abmessungen beider Theile sind nicht bestimmt begränzte. Der Bleikörper kann 3 bis 4 Zoll lang sein, einen Durchmesser von 1 Zoll haben und auf Füßen von 3″ 6‴ Höhe, 2″ 9‴ Breite und 0,5‴ Dicke ruhen; der Messingkörper, welcher auch durch Kupfer ersetzt werden kann und Wackler heißt, ist etwa 5 bis 6 Zoll lang, hat als Querschnitt zunächst ein Fünfeck mit einer Basis von 11,4‴, die daran stoßenden zwei Seiten sind je 1‴ und die beiden letzten je 7‴ lang; letztere sind aber am Scheitel des von ihnen gebildeten Winkels durch einen 2‴ breiten und 1‴ tiefen Einschnitt getrennt.



(Fig. 402.)

Für den Gebrauch schabt man die Oxydschicht am Rücken des Bleikörpers ab, damit das blanke Metall zum Vorscheine komme, erhitzt den Wackler so stark über einer Spiritusflamme, daß er zischt, wenn man ihn mit dem feuchten Finger berührt und legt dann diesen auf jenen so, daß er mit den beiden einander ganz nahe liegenden Kanten balancirt oder daß der Stiel den Tisch oder besser noch den Resonanzboden, auf welchem das Instrument steht, eben nur lose berührt. Kurze

Zeit, nachdem man aufgelegt hat, hört man einen klaren und durchdringenden Ton, wobei der Wackler und selbst der Stiel durch und durch erbebt. Will der Ton nicht sogleich erscheinen, so darf man mit dem Finger nur etwas stark und wiederholt an den Tisch schlagen, um eine kleine Erschütterung hervorzubringen.

Berührt man während des Tönens den Stiel, so wird der Ton etwas abgeändert, wie wenn man eine tönende Saite etwas verkürzt; drückt man den Wackler mit der Spitze einer Nadel auf die Unterlage, so springt der Ton so ziemlich in die Oktave über, wie wenn man eine Saite halbirt.

Der Ton tritt nicht so kräftig auf bei zwei gleichartigen Körpern, z. B. bei heißem Kupfer auf zwei die Wärme leicht abgebenden Kupferspitzen, doch noch ziemlich gut bei Steinsalz auf Steinsalz, niemals aber wenn die beiden verschiedenartigen oder gleichartigen Körper einerlei Temperatur haben. Ebenso verhindern dazwischen liegende Körper, wie Staub, Oel, Amalgam, Oxyd und die Vermehrung der Berührungspunkte, wodurch die Adhäsion vergrößert wird, die Entstehung des Tones gänzlich. Die Stärke und Geschwindigkeit der Schwingungen oder die Tonhöhe hängt mit dem Unterschiede der Wärmeleitung, weniger mit dem ursprünglichen Unterschiede der Temperatur beider Körper zusammen. Wenn auch zum Entstehen des Tones eine gewisse Temperaturdifferenz gehört, so verkleinert sich dieselbe doch während des Forttönens bei fortschreitender Ausgleichung der Temperaturen der einander berührenden Körper; der Ton verschwindet aber, wenn letztere eine gewisse Gränze erreicht hat.

Wenn man zur Erklärung dieser auffallenden Tonerscheinung annimmt, daß der Wackler auf seinen beiden Berührungskanten abwechselnd gehoben werde und herabfalle, indem die Unterlage an den berührten Stellen durch abwechselnde Erwärmung und Abkühlung höher oder tiefer werde; so ist dieses nach meiner Ueberzeugung falsch, weil zu den entstandenen Tönen meist gegen 600 Schwingungen in einer Sekunde gehören und in dieser Zeit nicht so viele wirksame Erwärmungen und Abkühlungen aufeinander folgen können, überdies aber die auf das unelastische Blei ausgeübten Stöße einen so klaren Ton gar nicht geben können. Jeder aufmerksame Beobachter muß auch ohne Mikroskop schon durch die Berührung mit dem Finger erkennen, daß zunächst der Wackler durch und durch in tönenden Schwingungen begriffen ist, welche sich allerdings den anderen mit ihm in Verbindung stehenden Körpern so mittheilen, daß ihre Berührung imstande ist, den Ton zu hemmen oder etwas abzuändern.

Der Ton ist eine Koinzidenzerscheinung der von den beiden Körpern einander entgegenkommenden Wärmeschwingungen, wie sie der tartinische Ton war für zusammentreffende Tonschwingungen. Wenn die Töne einander nahe lagen, so erfolgten langsame Kombinationsstöße; je mehr sich die

Töne entfernten, desto schneller folgten die Stöße aufeinander, bis sie endlich einen Ton gaben. Es ist wohl klar, daß bei den Wärmeschwingungen der Molekel der Unterschied der Schwingungszahlen oder die Temperaturdifferenz sehr groß sein muß, damit die Wärmekombinationsstöße sich zu Tonschwingungen zusammensetzen. Wenn der Ton, nachdem er bei einer gewissen größeren Temperaturdifferenz eingeleitet worden ist, in derselben Höhe noch fortdauert, obwohl der Wärmeunterschied ein geringerer geworden ist; so ist zu berücksichtigen, daß jeder Körper von einer bestimmten Ausdehnung und Massenbeschaffenheit als Ganzes auch nur einen bestimmten Ton gibt, zu dessen Anregung es nur einer gewissen lebendigen Kraft bedarf, welche aber nach geschehener Einleitung wegen des ununterbrochen wirksamen Beharrungsvermögens im tönenden Körper verkleinert werden darf, ohne in dem Erfolge eine Aenderung hervorzubringen.

Die Erscheinung am Termophon dient noch zum Beweise davon, daß die Wärme nicht in Bewegungen der die Molekel umgebenden Aethersphären besteht, wie man geglaubt hat, sondern in Schwingungen der Körpermolekel selbst mit ihren Schwerpunkten (vergl. Bd. II. S. 15), weil der Ton auch nur durch vollständige Schwingungen der ganzen Molekel gebildet werden kann.

2. Wie durch fortgesetzte und energische Reibung zweier Körper aneinander die Wärme bis zur Entwickelung des Lichtes gesteigert werden kann, ist selbst allen wilden Völkern bekannt, ohne daß sie daran denken, daß die Vermehrung der Schwingungszahl der Molekel der irdischen Körper den in ihnen enthaltenen Weltäther zu noch viel rascheren stehenden Schwingungen anregt, welche sich uns als Licht erkennbar machen, indem sie den außerhalb der Körper befindlichen Aether zu fortschreitenden Schwingungen veranlassen, gleichwie die tönenden Schwingungen einer Pfeife oder des Trevelyan-Instrumentes durch die fortschreitenden der umgebenden Luft zu unserem Ohre gelangen. Wie also die von der Sonne angeregten Aetherschwingungen in den Körpern Wärmeschwingungen hervorbrachten, so erzeugen diese auch Aetherschwingungen.

Die Steigerung der Wärme bis zum Glühen und Brennen kommt sehr häufig vor, z. B. beim Feuerschlagen mit Stahl und Stein, beim Schleifen auf einem trockenen gedrehten Steine, beim Fahren ohne Schmiermittel für die Räderaxen, wenn Schiffe vom Stapel gelassen werden, wenn Mühlen leer gehen, beim Reiben der Streichzündhölzer und in anderen Fällen.

Die Wärme eines Körpers ist von wesentlichem Einflusse auf sein Lichtbrechungsvermögen: erwärmt man z. B. Wasser, so bricht es das Licht schwächer, verwandelt man es in Dämpfe, so ist das Lichtbrechungsvermögen noch geringer. Der Grund davon liegt darin, daß die Dichtigkeit des Aethers in den Körpern sich nach den allgemeinen Gesetzen der

Massenanziehung richtet, so daß also bei der Raumerweiterung eines Körpers die Dichtigkeit des Aethers in ihm abnimmt.

Daß die Temperatur eines Körpers auch auf die Farbe sowohl des durchgelassenen, als auch des zurückgeworfenen Lichtes von Einfluß ist, oder daß die Veränderung der Anzahl der Wärmeschwingungen auch die Schwingungszahl des Lichtes ändert, beweisen viele Fälle. Das strohgelbe salpetrigsaure Gas wird in einer zugeschmolzenen Glasröhre beim Erhitzen zuerst blutroth, und zuletzt undurchsichtig und schwarz. Ebenso ändern Zinnober, Mennige, rothes Quecksilberoxyd beim Erhitzen ihre Farbe und nehmen sie nach dem Erkalten wieder an. — Hierher gehört auch das sogen. Anlassen des glasharten Stahles über glühenden Kohlen: bei 200° Wärme wird er blaßgelb, bei steigender Hitze orange, dunkelorange, violett, lebhaft blau, bei 450° grünlich blau, dann dunkelroth, hellkirschroth.

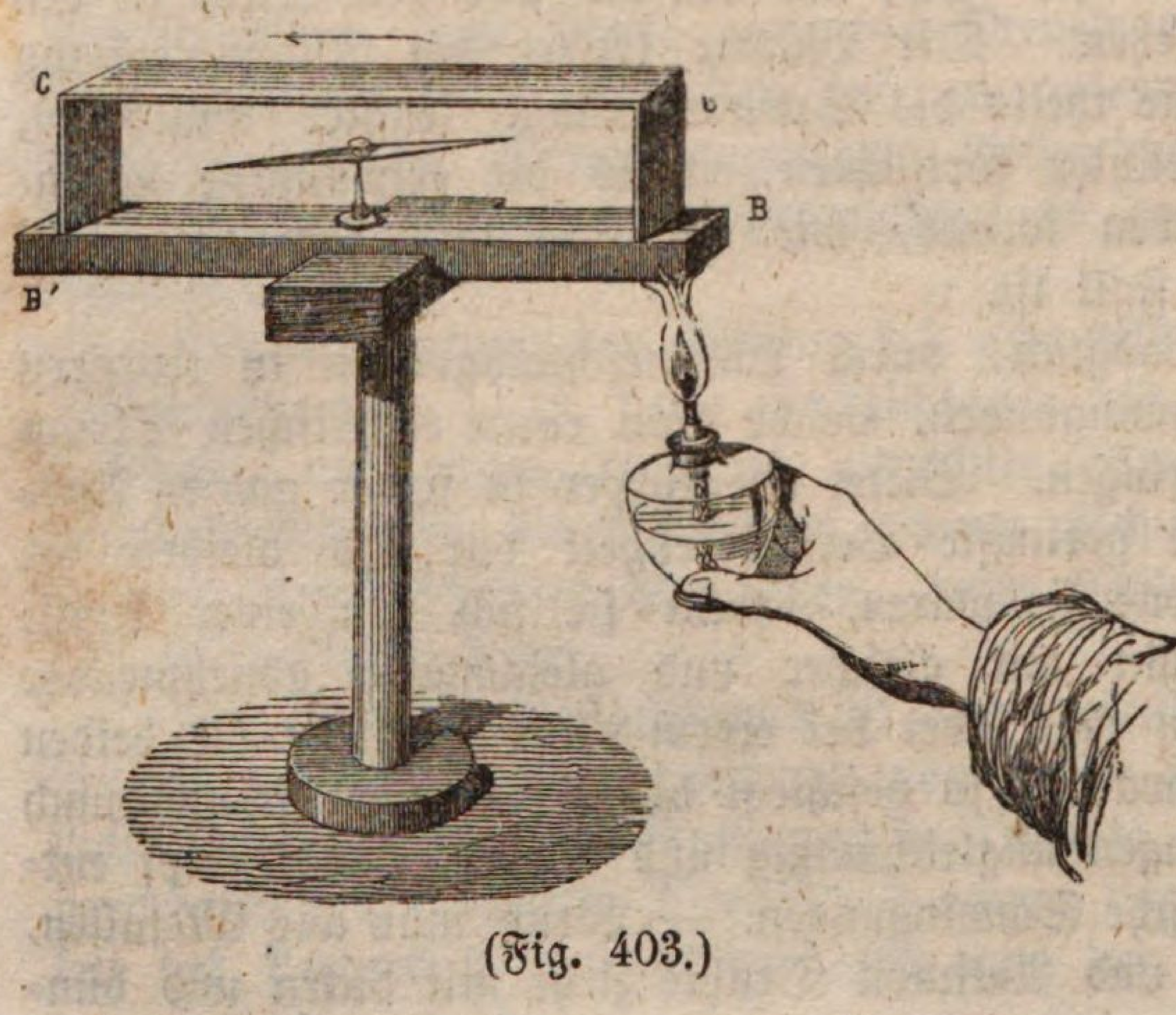
3. Die Wärme ist ferner eine Quelle für die Elektrizität. Einzelne Fossilien, wie Borazit, Quarz, Schwerspath, brasilianischer Topas, Titanit und besonders Turmalin werden durch Erwärmung polarelektrisch, d. h. an dem einen Ende zeigen sie freie positive, an dem anderen freie negative Elektrizität mit einer Indifferenzstelle dazwischen; also verhalten sie sich wie ein Magnet oder eine trockene Säule und ihre Molekel befinden sich in einer Spannungslage. Beim Erkalten geht die Polarität in die entgegengesetzte über. Die polaren Enden solcher Krystalle sind unsymmetrisch. — Wärme begünstigt die Entwickelung der statischen oder Spannungselektrizität. Die Elektrisirmaschine z. B. zeigt sich in der Nähe eines geheizten Ofens wirksamer, als in einem kalten Zimmer; Maschinenpapier wird an einem warmen Ofen beim Bestreichen sehr leicht und stark elektrisch. Elektrische Nichtleiter werden zu Leitern, wenn sie durch die Wärme aus dem festen in den flüssigen Zustand übergehen. Die Wärme lockert den Zusammenhang der Molekel, so daß sie theils die Spannungslage leichter annehmen, theils Schwingungen leichter fortführen, theils die erzwungene Spannungslage wieder aufgeben können, wie es z. B. mit dem Ozon bei seiner Erwärmung der Fall ist.

Es ist aber auch möglich, durch Wärmeschwingungen in Körpern lebendige elektrische Schwingungen, welche man einen elektrischen Strom genannt hat, hervorzubringen. Bietet ein Körper in seiner ganzen Ausdehnung auch nicht die geringste Verschiedenheit dar, so bleiben die Wärmeschwingungen, was sie waren, indem sie sich von einer Stelle größerer Kraft überallhin mit gleicher und gleichmäßig abnehmender Kraft verbreiten. Wenn man aber bei einem Alumniumstabe die beiden Enden ungleichmäßig erwärmt, so geschieht die Wärmeausgleichung nach entgegengesetzten Richtungen ungleichmäßig und durch diesen Kampf entstehen andauernde elektrische Schwingungen. — Wenn man aus Metallen, besonders aus Wismut und Antimon Drähte zieht mit dicken und dün-

nen, harten und weichen Stellen, so entstehen bei der Erwärmung oder Abkühlung einer Uebergangsstelle ebenfalls die zusammengesetzten elektrischen Schwingungen, weil die Wärmeschwingungen an den harten und dicken Stellen verzögert, an den weichen und dünnen beschleunigt werden. — Ist ein Metall zwischen zwei in jeder Beziehung gleichartigen Metallen so eingeschaltet, daß es von ihnen die Schwingungen aufnimmt, so bleibt jede neue Erscheinung aus, weil die in ihm von beiden Metallen einander entgegenkommenden Schwingungen einander aufheben oder interferiren.

Sind zwei Streifen verschiedener Metalle aneinander gelöthet und erwärmt man die Löthstelle, so pflanzen sich von da an die Wärmeschwingungen in jedem der beiden Metalle gemäß seiner Leitungsfähigkeit langsamer oder schneller nach dem anderen Ende fort, wobei weder die Weite noch die Anzahl der Schwingungen in beiden dieselbe sein wird, bis endlich das Gleichgewicht hergestellt ist, d. h. bis die Bewegungsgrößen der Atomeinheilen dieselben sind. Wenn aber die beiden Enden dieser Metalle durch einen guten Leiter verbunden werden, so kommen in ihm die von jenen ausgehenden Wärmeschwingungen mit ungleichen Bewegungsmomenten einander entgegen und es entsteht ein Kampf nicht blos zwischen ihnen, sondern auch mit dem Beharrungszustande der Molekel des Leiters, wodurch diese in andauernde elektrische Schwingungen gerathen.

Diese Schwingungen pflegt man einen thermoelektrischen Strom und den durch die Wärme hervorgebrachten elektrischen Zustand die **Thermoelektrizität** zu nennen. Die beiden aneinander gelötheten Metalle bilden eine **thermoelektrische offene Kette**; werden die beiden anderen Enden durch einen Leiter verbunden oder auch aneinander gelöthet und dabei die Metalle in einiger Entfernung von einander erhalten, so ist die **Kette geschlossen**.



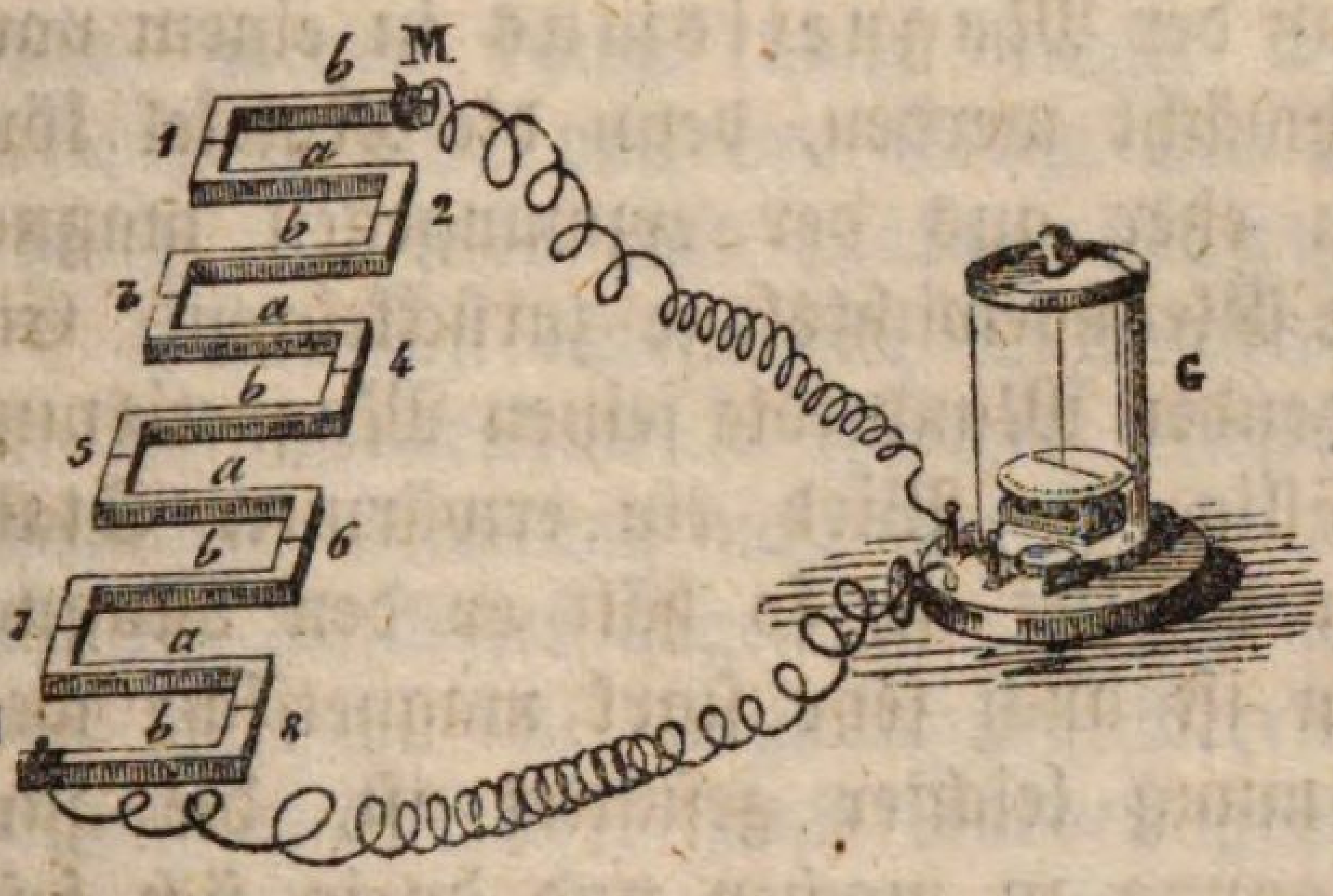
(Fig. 403.)

Fig. 403 stellt eine einfache geschlossene thermoelektrische Kette dar. BB' ist ein Prisma von Wismut, auf seine beiden Enden ist eine zweimal gebogene Kupferplatte CC' gelöthet, so daß ein freier Zwischenraum bleibt, in welchen man eine kleine Magnet-

nadel stellen kann. Diesen Rahmen stellt man der Bequemlichkeit wegen auf ein kleines Gestell. Wird nun die eine Löthstelle B durch eine Spiritusflamme erhitzt, so geht die positiv elektrische Bewegung von da durch das Kupfer in der Richtung des Pfeiles nach der kalten Löthstelle und zurück durch das Wismut. Es ist also hierbei das Kupfer als positiv und das Wismut als negativ elektrisch anzusehen.

Dieselbe Erscheinung tritt ein, wenn man auf einen Stab von Wismut oder von Kupfer einen Streifen von Antimon in gleicher Weise löthet und die eine Löthstelle erwärmt: die positive Bewegung geht in beiden Fällen von der Löthstelle nach dem Antimon, welches das positive Metall ist, während Wismut und Kupfer negativ sind.

Die Stärke der elektrischen Bewegung hängt von dem Unterschiede der Temperatur der beiden Löthstellen ab; wird also bedeutender, wenn man während der Erwärmung der einen die andere abkühlt, indem man z. B. Eis darauf legt. Wären die beiden Löthstellen gleich warm, so würden die von jedem Metalle über die beiden Stellen nach dem anderen Metalle gelangenden Schwingungen einander aufheben, da sie in allen Schwingungsphasen gleiche und entgegengesetzte Bewegungsmomente haben.



(Fig. 404.)

Man kann, um bedeutendere Wirkungen zu erhalten, einfache thermoelektrische Ketten zu einer **thermoelektrischen Säule** verbinden. Fig. 404 stellt ein solches System dar. Es sind die mit b bezeichneten Wismutstücke so mit den Antimonstücken a zusammengelöthet, daß sie regelmäßig miteinander abwechseln und die ungraden Löthstellen auf der einen, die graden auf der anderen Seite liegen. Von den äußersten Enden M und N des Ganzen gehen zwei Leitungsdrähte zu einem Galvanometer G, dessen Magnetnadel sowohl das Vorhandensein als auch die Richtung der elektrischen Bewegung anzeigt, wenn entweder alle graden oder alle ungraden Löthstellen gleichzeitig erwärmt werden, indem man sie z. B. in heißes Oel taucht. Erwärmt man bei dieser Zusamenstellung die ungraden Löthstellen, so geht nach dem Obigen die positive Bewegung in der Säule selbst von M nach N und im Leitungsdrahte von N nach M.



(Fig. 405.)

Noch bequemer wird die Vorrichtung, wenn man, wie Fig. 405 andeutet, die an ihren Enden zusammengelötheten und ein ununterbrochenes Ganze bildenden Metallstäbchen zu einem prismatischen Bündel mit parallelen Reihen ordnet, wobei die ungraden Löthstellen an der einen Seite D, die graden an der anderen C

liegen und dafür sorgt, daß die Stäbchen, welche etwa 32 Millimeter lang, 2,5 Millim. dick und 1 Millim. breit sind, durch Firniß oder Seide gut voneinander isolirt sind. Die ganze Säule wird in eine auf der Innenseite mit Schellackfirniß überzogene kupferne Hülse gesteckt, aus welcher nur eine leitende Verbindung mit dem ersten Antimon und letzten Wismut hervorragt. Die Löthstellen sind, um sie für Wärmestrahlen sehr empfindlich zu machen, mit Lampenruß geschwärzt und gegen Seitenstrahlen durch aufzusetzende und innerhalb geschwärzte Metallkapseln geschützt. Dieser Apparat ist außerordentlich empfindlich. Man kann z. B. durch die Wärme der in ziemlicher Entfernung vorgehaltenen Hand die weit entfernte Magnetnadel zu einer bedeutenden Abweichung bringen.

Nimmt man 16 bis 20 Paare von Antimon-Wismutstäben von 1 Zentimeter Seite, so lassen sich alle Wirkungen, wie wir sie bei der galvanischen Elektrizität kennen gelernt haben, z. B. die Funken bei der Berührung oder Trennung der Poldrähte, leicht erkennen. Die Erwärmung kann man durch die Strahlen einer glühenden Metallplatte vornehmen.

4. Weil bei der Zunahme der Wärme in einem Körper seine Massentheilchen gelockert werden, muß der Magnetismus in einem vorhandenen Magneten durch sie geschwächt werden, denn die Molekel können bei der verminderten Kohäsion eher aus der erzwungenen magnetischen Lage wieder in ihre frühere Gleichgewichtslage zurückkehren. Ein Stahlmagnet verliert schon im siedenden Mandelöle seinen Magnetismus fast ganz und beim Weißglühen völlig. — Wird ein erwärmter Stahl so lange magnetisirt, bis er wieder erkaltet ist, so hält er den Magnetismus nicht nur sehr fest, sondern ist auch sehr stark magnetisch, weil den Molekeln während der Erwärmung leichter gestattet ist, die zum Magnetismus nöthige Viertelsschwingung zu machen und darin sich festzusetzen, bis die Abkühlung die Rückkehr verhindert. — Wenn man ein rothglühendes Stäbchen von englischem Gußstahle mit einem kräftigen Magneten aus dem Feuer holt und es am Magneten schnell ablöscht, so erhält man einen sehr kräftigen Magneten. — Ist ein Stahlstab bei einer bestimmten Temperatur zu einem Magneten gemacht worden, so schwächt auch Abkühlung den Magnetismus, weil dadurch die Molekel einander näher kommen, wodurch die Weite der Schwingung, welche die Stärke des Magnetismus bedingt, vermindert wird.

Bei jedem Körper ist eine bestimmte Temperatur, bei welcher er für den höchsten Grad von Magnetismus empfänglich ist; von da an schwächt ihn sowohl Kälte, als auch Wärme; denn durch jene wird die Weite der den Magnetismus bedingenden Viertelschwingung verkleinert und durch diese die Rückkehr aus der erzwungenen Schwingungslage in die ursprüngliche Gleichgewichtslage erleichtert.

Wenn die Wärme in einem Leitungsdrahte andauernde elektrische

Schwingungen hervorbringt, so liegt in der Natur dieser Bewegung und in der von dem Wesen des Magnetismus erlangten Vorstellung, daß der Leitungsdraht während dieser elektrischen Bewegung seiner Molekel zugleich magnetisch sein muß, welchem Metalle er auch angehören mag; denn es finden Nebenschwingungen um eine Lage der Molekel statt, welche nur als das erste vollendete Viertel einer Hauptschwingung um die ursprüngliche Ruhelage anzusehen ist. Diese feste Hauptschwingungslage ist der Magnetismus und weil er durch Wärme hervorgebracht ist, Thermomagnetismus.

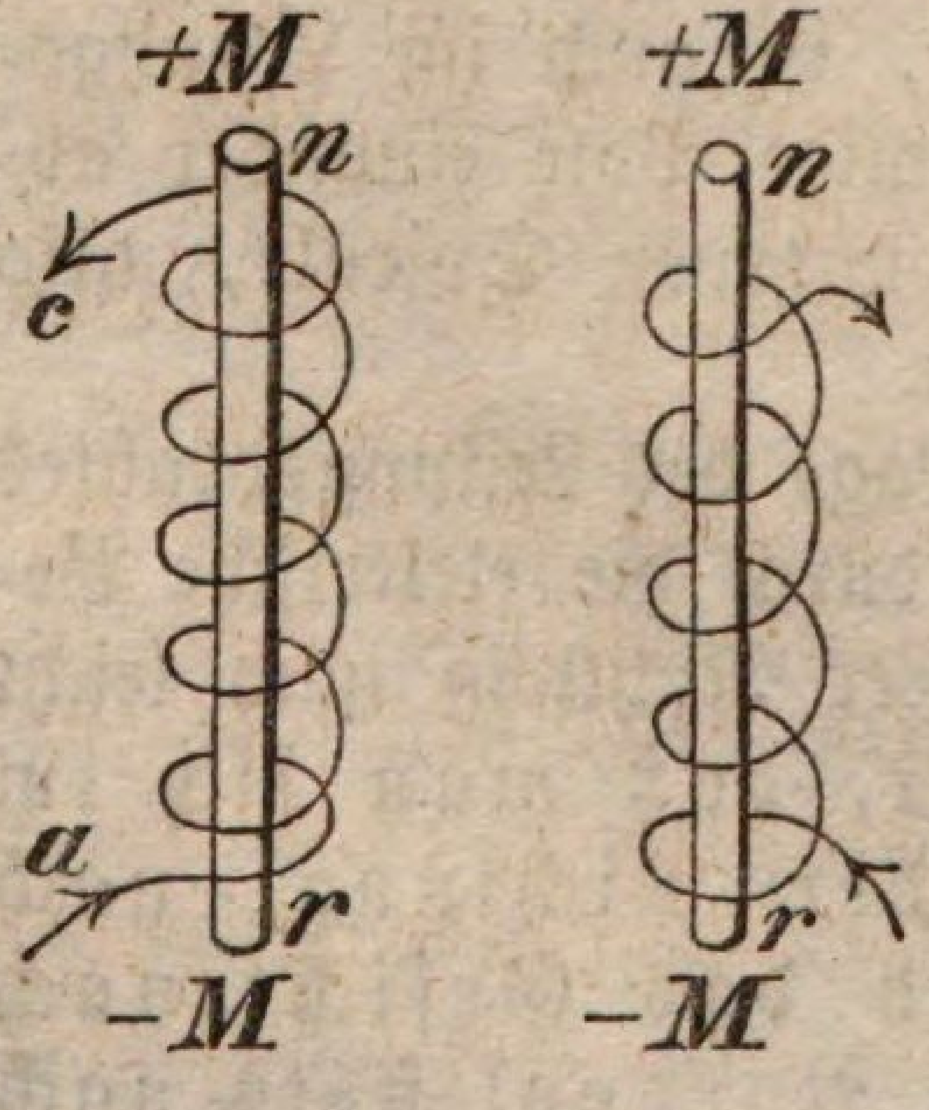
Wie lange durch den Leitungsdraht die elektrische Bewegung geht, so lange zeigt er die Eigenschaften eines Magneten, d. h. er zieht z. B. Eisenfeilspähne an und wirkt auf eine Magnetnadel; er zeigt aber nicht eine verschiedene Polarität in der Richtung nach seinen beiden Enden, sondern, weil alle Molekel nach einerlei Richtung in derselben lebendigen Schwingung begriffen sind, ringsum an allen Stellen der Längenausdehnung gleichmäßig und zwar so, daß der positive Magnetismus in einer links gewundenen Spirale (vergl. Bd. II. S. 374), der negative in einer rechts gewundenen um den Leitungsdraht erscheint. Die Eisenfeile bilden während der elektrischen Bewegung an dem Leitungsdrahte seiner ganzen Länge nach Ringe, deren Breite von der Stärke der Elektrizität oder von der Größe des Ausschlages bei den Schwingungen abhängt. Dieses sind elektromagnetische Figuren.

Hält man eine kleine Deklinationsnadel über verschiedene Stellen des Leitungsdrahtes in gleicher Entfernung von ihm, so wird bei einer bestimmten Richtung und Stärke der elektrischen Bewegung stets derselbe Pol um gleichviel abgelenkt. Wenn man den Leitungsdraht in horizontaler Lage in den magnetischen Meridian bringt und die positive Bewegung von Süden nach Norden geht, so wird der Nordpol der darüber gehaltenen Nadel nach Osten abgelenkt; hält man die Nadel an die Ostseite des Drahtes, so geht der Nordpol nach unten; hält man sie unter den Draht, so geht der Nordpol nach Westen; hält man sie an die Westseite, so geht der Nordpol nach oben. In der Richtung, in welcher der Nordpol der Nadel abgestoßen wird, ist auch im Leitungsdrahte die Nordpolarität wirksam, weil gleichnamige Pole einander abstoßen und dies ist der Fall in einer links gewundenen Spirale, also bei der Südpolarität in einer rechts gewundenen.

Man hat eine sehr einfache und für jede Lage des Leitungsdrahtes geeignete Regel aufgestellt, nach welcher sich die durch die elektrische Bewegung bewirkte Ablenkung der Magnetnadel ihrer Richtung nach leicht angeben läßt. Stellt man sich nämlich vor, daß man sich im Leitungsdrahte befinde, den Kopf in der Richtung, nach welcher die positive Bewegung geht und das Gesicht nach der Magnetnadel gerichtet, so wird ihr Nordpol stets nach links (dahin, wohin man den linken Arm ausstreckt) abgelenkt.

Aus dieser einfachen Regel läßt sich bei jeder beliebigen Lage eines Leitungsdrahtes je nach der Richtung, in welcher der Nordpol einer Magnetnadel abgestoßen wird, die Richtung der positiv elektrischen Bewegung beurtheilen; denn positive Elektrizität und positiver Magnetismus stoßen einander ab. Vergl. Fig. 395.

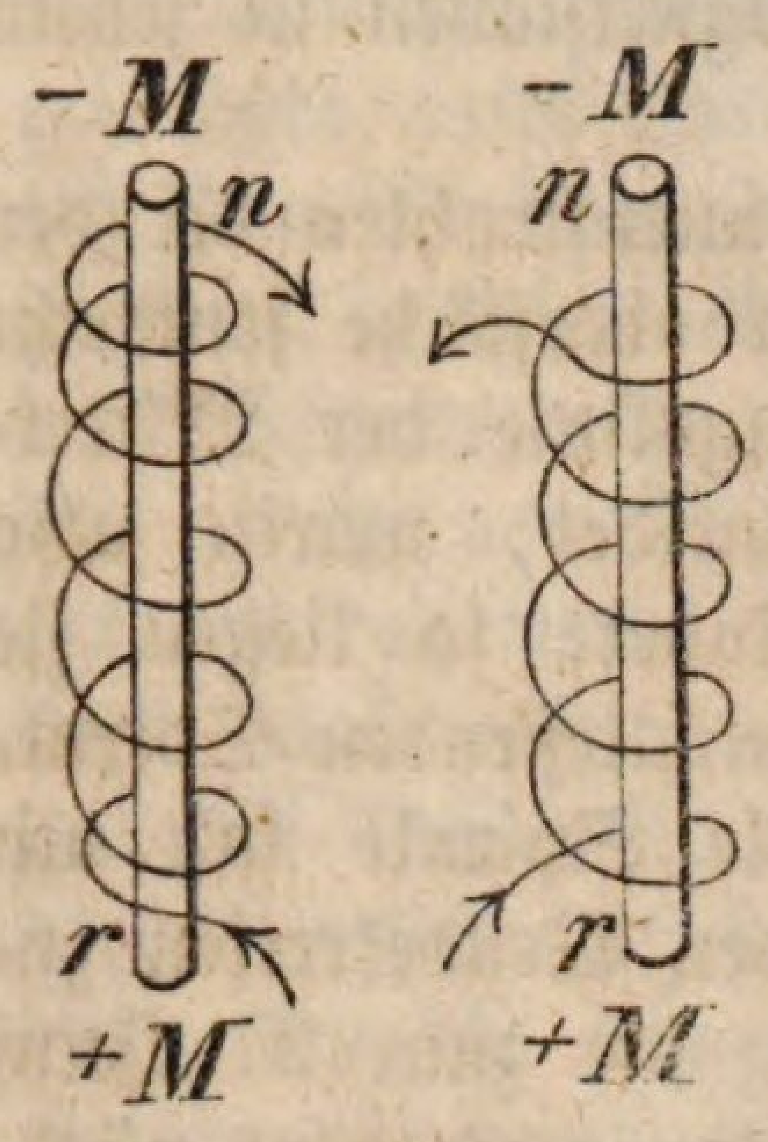
Wenn die thermoelektrische Bewegung in einem Leitungsdrahte magnetische Eigenschaften zeigt, so muß sie weiches Eisen auch zu einem Magneten machen. Führte man den Leitungsdraht z. B. von Süden nach Norden parallel über einem Stabe von weichem Eisen fort und ginge die positivelektrische Bewegung in derselben Richtung, so würde nach der obigen Regel in dem Stabe westlich der positive und östlich der negative Magnetismus entstehen; ginge der Leitungsdraht an der Ostseite des Stabes hin, so würde in diesem der positive Magnetismus nach oben, der negative nach unten gerichtet sein u. s. w. Der Eisenstab würde zu einem Quermagneten (Transversalmagneten). Will man den Eisenstab zu einem Längenmagneten mit den beiden Polaritäten in den beiden Hälften desselben machen, so muß man den Leitungsdraht rechtwinklich über den Stab führen. Geschähe dieses so, daß die positive Bewegung von Westen nach Osten gerichtet wäre, so würde das nach Norden gerichtete Ende des Stabes positiven, das nach Süden gewendete negativen Magnetismus erhalten. Bei einer einmaligen Kreuzung können nur wenige Molekel des Leitungsdrahtes auf das Eisen wirken und nur einen schwachen Magnetismus in ihm hervorbringen; wenn man aber den Leitungsdraht mit vielen Stellen auf viele Stellen des Drahtes in gleicher Weise wirken läßt, so kann eine verhältnißmäßig sehr bedeutende Gesammtwirkung erzielt werden. Geht der Draht beispielsweise oben von West nach Ost, auf der Ostseite von oben nach unten, unten von Ost nach West, auf der Westseite von unten nach oben; so wird stets das nach Norden gerichtete Ende des Stabes den magnetischen Nordpol, das nach Süden gewendete den magnetischen Südpol erhalten.



(Fig. 406.)

Dieser Zweck wird in einem möglichst vollkommenen Grade erreicht, wenn man, wie es Fig. 406 angibt, den Leitungsdraht ac einer geschlossenen Kette in einer rechtsgewundenen Spirale um den Eisenstab rn so führt, daß die einander und dem Stabe nahen Windungen gut isolirt sind. Geht die positive Bewegung in dem Drahte von a nach c, so bekommt das Ende r negativen, das Ende n positiven Magnetismus.

Leitet man den Draht aber, wie es Fig. 407 zeigt, in einer links gewundenen Spirale, so zeigen nach der obigen Regel die Drahtenden



(Fig. 407.)

entgegengesetzten Magnetismus: n negativen und r positiven.

Ist in den Leitungsdraht ein Stromunterbrecher eingeschaltet, so verliert der Stab rn, wenn er aus vollkommen weichem Eisen besteht, bei jeder Unterbrechung des Stromes den Magnetismus sofort und nimmt ihn bei der Schließung der Kette aufsneue an, was man durch genäherte Eisenfeile leicht erkennen kann.

Nimmt man statt des Stabes aus weichem Eisen ein Stahlstäbchen, so wird es bei der Schließung der Kette auch zu einem Magneten, aber behält den Magnetismus nach dem Oeffnen derselben. Steckt man zwei gleichgroße Stahlnadeln in ein Glasröhrchen, um welches die Spirale gewunden ist, und schließt man die Kette auch nur einen Augenblick, so hat man zwei gleichstarke Magnetnadeln erhalten, welche man zu einer astatischen Doppelnadel verwenden kann.

Der Erdmagnetismus und sein wechselnder Einfluß auf die Magnetnadel sind Thatsachen, welche durch die Beobachtungen unwiderleglich feststehen. Wenn die Magnetnadel in den verschiedenen Tages- und Jahreszeiten und im Laufe der Jahrhunderte bestimmte Schwankungen zeigt, so können sie nur eine Folge von Veränderungen in der Stärke und Lage der magnetischen Pole der Erde sein. Hält man unter eine im magnetischen Meridiane befindliche Deklinationsnadel einen Magnetstab parallel und mit seinen Polen entgegengesetzt denen der Nadel, so bleibt diese in Ruhe. Wendet man den Südpol des Stabes etwas nach Westen oder nach Osten, so folgt ihm der Nordpol der Nadel auch dahin. — Wenn man dem Nordpole der Nadel zu beiden Seiten zwei gleichstarke Südpole in gleicher Entfernung oder bei ungleicher Stärke derselben in einer solchen ungleichen Entfernung entgegen hält, daß ihre Kräfte gleichstark auf die Nadel wirken, so wird sie in Ruhe bleiben; wenn aber von den beiden Polen der eine, z. B. der östlich gelegene, geschwächt oder etwas entfernt wird, so wendet die Nadel sich mehr dem westlichen zu und umgekehrt.

Aus diesen begründeten Erfolgen glaubte man früher die beobachteten Schwankungen der Magnetnadel und der sie bewegenden Kraft auf einen oder gar auf zwei im Inneren der hohlen Erde befindliche große Magnete zurückführen zu müssen. Wäre dieses der Fall, so müßten die Bewegungen der Nadel in der Nachthälfte ebenso stark sein, als in der Taghälfte, was nicht stattfindet. Seit man aber weiß, daß Wärmeunterschiede elektrische Bewegungen und daß diese Magnetismus erzeugen, darf man mit vollem Rechte die ganze Erde als einen thermoelektrischen Magneten ansehen. Die erdmagnetische Kraft kann der

vereinigten Wirkung von etwa acht einpfündigen Magnetstäben in jedem Kubikmeter der Erde gleichgesetzt werden.

Verfolgen wir die Stellen, in welchen die Sonnenstrahlen bei der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde die Erdoberfläche senkrecht treffen oder die Stellen, in welchen die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Weltkörper in die Erdoberfläche einschneidet, worin also stets die größte Erwärmung durch die Sonne stattfindet; so liegen sie alle in einer die Erde innerhalb der heißen Zone umschließenden Spirallinie. Während der Tag- und Nachtgleiche fällt die Spirale fast mit dem Aequator und während der Solstizien fast mit den Wendekreisen zusammen; in unserem Sommer gehen vom 21. März bis zum 21. Juni ihre immer enger werdenden Windungen vom Aequator nach dem nördlichen Wendekreise und von da bis zum 21. September wieder zum Aequator zurück, indem sie wieder weiter werden; in unserem Winter liegen die Spiralwindungen in der südlichen Halbkugel. Da die Erdkruste aus mannigfach wechselnden Stoffen besteht und in diesen durch eine einseitige Erwärmung eine elektrische Erregung entsteht, wenn Wärmeunterschiede stattfinden; so würde schon bei einem festen Stande der Sonne die Elektrizität nicht ausbleiben. Wird doch ein Eisenstab schon magnetisch, wenn er nur in seiner Mitte erwärmt oder an den beiden Enden abgekühlt wird. Da nun aber die Stelle der größten Erwärmung mit dem scheinbaren jährlichen Laufe der Sonne in auf- und absteigenden Spiralen ohne alle Unterbrechung von Osten nach Westen geht, so muß auch die positiv-elektrische Bewegung dieselbe Bahn um die Erde beschreiben und macht daher die zur Linken liegende Hälfte derselben, d. i. die südliche zu einem positiven, die zur Rechten liegende zu einem negativen Magnetpole, worauf auch die Magnetnadel unfehlbar hinweist.

Hierzu treten, um die scheinbar sehr verwickelten Erscheinungen aufzuklären, noch einige wichtige Erfahrungen, namentlich die, daß die Wärme den vorhandenen Magnetismus schwächt und daß das Wasser und das Festland eine sehr verschiedene Leitungsfähigkeit für die Elektrizität haben.

Die Stärke der elektrischen Erregung zwischen zwei Orten hängt von dem örtlichen Wärmeunterschiede, der Leitungsfähigkeit der betreffenden Stellen der Erdoberfläche und von der Wärmekapazität der Körper ab. Das Wasser hat eine 5mal größere Kapazität, als das Land. Während der Nacht sind die Schwankungen der Wärme geringer, als am Tage; über dem Meere nicht so groß, als über dem Festlande; im Winter kleiner, als im Sommer; in den kalten Zonen viel unbedeutender, als in den gemäßigten und in diesen auch größer, als in der heißen. Je geringer die Differenzen der Temperaturen von den in der Richtung von Osten nach Westen liegenden Orten ist, desto unbedeutender sind die Schwankungen der Magnetnadel. Wird in unserer Halbkugel der

Thermomagnetismus an der Ostseite der Nadel durch eine bedeutende und über weite Strecken gleichmäßige Erwärmung abgeschwächt, so wendet sich der Nordpol der Nadel mehr nach Westen und daher ist auch die tägliche westliche Abweichung mittags gegen 2 Uhr am größten; wird die Westseite mehr abgeschwächt, so geht der Nordpol wieder nach Osten, wie es in der Nacht geschieht. — In unserem Sommer ist der Magnetismus der nördlichen, in unserem Winter der von der südlichen Halbkugel mehr abgeschwächt. — Weil hohe und ausgedehnte Gebirgszüge auf die Temperaturverhältnisse von bedeutendem Einflusse sind, so müssen dieselben sich auch bei den Schwankungen der Magnetnadel geltend machen.

Da die Kontinente der alten und neuen Welt durch zwei in ihren Hauptrichtungen von Norden nach Süden sich erstreckende Meere getrennt sind, und diese in der elektrischen Bewegung eine bedeutende Störung und Unterbrechung hervorbringen; so folgt daraus, daß wir die durch die thermoelektrischen Spiralströme erzeugten Magnetpole auch nur in den Kontinenten zu suchen haben. Daß sie mit den astronomischen Polen nicht zusammenfallen, liegt nicht nur in der schiefen Lage der Erdaxe gegen ihre Bahn um die Sonne, sondern auch an dem fast gänzlichen Mangel der Thermoelektrizität in den kalten Zonen. — Weil die nördliche Halbkugel eine etwas höhere Temperatur hat, als die südliche, so ist die mittlere Neigung am Erdäquator eine südliche.

Unter allen Umständen ist die Stellung der frei und ruhig schwebenden Magnetnadel das Resultat aller auf sie wirkenden thermoelektrischen Bewegungen der Erdrinde unter ihr und um sie, und sie kommt nicht eher zur Ruhe, als bis die Molekel in ihr gleiche Bewegungsrichtung mit denen der Erdoberfläche haben. Die Nadel steht also senkrecht auf der thermolektrischen Spirallinie des Beobachtungsortes.

Wenn nun auch die täglichen und jährlichen Schwankungen der Magnetnadel und der Wechsel in der Kraft des Erdmagnetismus für diese Perioden ihre befriedigende Erklärung gefunden haben; so kann man doch für den im Laufe der Jahrhunderte stattfindenden Wechsel zwischen der östlichen und westlichen Deklination aus den bisherigen Beobachtungen noch keinen genügenden Grund angeben. Alles, was wir etwa sagen können, beschränkt sich auf die Bemerkung, daß die Stärke des Erdmagnetismus in der östlichen und westlichen Halbkugel im Laufe der Jahrhunderte einer Veränderung unterworfen ist, deren Grund wahrscheinlich in langsam vor sich gehenden Umwandlungen in größeren Tiefen der Erdkruste zu suchen ist. Seit 1580 beträgt die Schwankung der Magnetnadel gegen 30°.

Die Ablenkung der Magnetnadel ist der stumme, aber äußerst zuverlässige Zeuge von dem Vorhandensein der Elektrizität, aus welcher Quelle dieselbe auch kommen mag, und hat auf diese Weise zu den wunderbarsten und folgenreichesten Entdeckungen geführt. Um nun auch

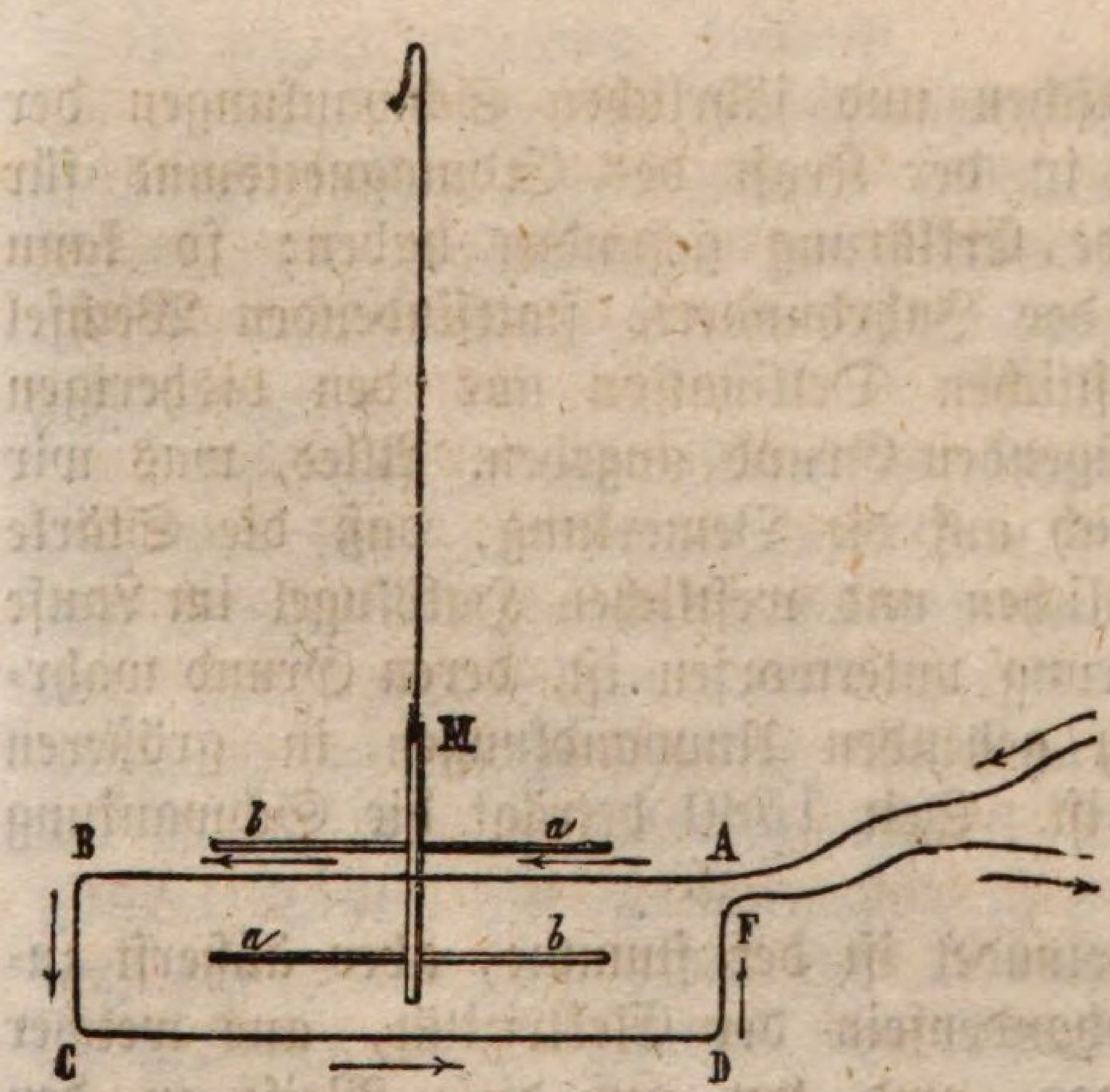
die geringsten Spuren von Elektrizität zu entdecken, z. B. im thierischen Organismus, sind noch besondere Vorrichtungen erforderlich, welche wir jetzt besprechen wollen.



(Fig. 408.)

Steht eine Deklinationsnadel ab (Fig. 408) ruhig, also im magnetischen Meridiane, und leitet man über sie von Süden nach Norden die positivelektrische Bewegung, also in der Richtung von A nach B, so wird bekanntlich der Nordpol a der Nadel nach Westen, also in der Richtung des bei a gezeichneten krummen Pfeiles abgestoßen; geht die positive Elektrizität von B nach C abwärts am Nordpole der Nadel vorüber, so wird der Nordpol a nach der bekannten Regel wieder nach Westen gelenkt; führt man den Leitungsdraht von C nach D, oder von Norden nach Süden, unter der Nadel fort, so muß diese mit ihrem Nordpole wieder dieselbe Richtung einschlagen; wird endlich der Draht an der Südseite der Nadel von D nach F oder von unten nach oben vorüber geführt, so muß ihr Südpol nach Osten und zugleich der Norpol nach Westen gestoßen werden. Geht also in dem ununterbrochenen Leitungsdrahte ABCDF die positiv elektrische Bewegung in der Richtung der daran gezeichneten Pfeile, so unterstützen die abstoßenden Kräfte aller Theile desselben einander so, daß auch bei einer geringeren Kraft jedes einzelnen der Gesammterfolg auf die Magnetnadel ein ziemlich bedeutender wird.

Dieser Erfolg erfährt nun eine neue Steigerung, wenn die Nadel wiederholt in derselben Weise von dem elektrisch erregten Leitungsdrahte umschlungen wird, wobei die einzelnen Drahtwindungen von einander gut isolirt sein müssen. Das Instrument wird **Multiplikator** genannt und ist von Schweigger zuerst angegeben worden.



(Fig. 409.)

Die erstaunlichsten Wirkungen aber erhält man, wenn man eine astatische und recht empfindliche Doppelnadel, wie sie Fig. 409 zeigt, anwendet. Von den beiden in paralleler Lage fest mit einander verbundenen Nadeln ist nur die untere innerhalb der wiederholten Windungen

des Leitungsdrahtes, während die obere frei darüber schwebt. Der obere Theil der Windungen muß natürlich für das Verbindungsstäbchen eine kleine Oeffnung haben. Da die Nadeln ihre ungleichnamigen Pole nach entgegengesetzten Richtungen haben, so dreht sie die Elektrizität des Leitungsdrahtes in gleichem Sinne. Sind nämlich a und a die beiden Nordpole, b und b die beiden Südpole der Nadeln, welche wir uns in der Ebene des Papieres liegend denken wollen und geht die positiv-elektrische Bewegung in dem Leitungsdrahte ABCDF wie vorhin in der Richtung der daran gezeichneten Pfeile; so wird durch das obere Drahtstück AB der Nordpol a der oberen Nadel hinter die Ebene des Papieres und der Nordpol a der unteren Nadel vor diese Ebene abgelenkt, so daß also diese beiden Bewegungen einander unterstützen. Das untere Drahtstück CD bewirkt in der unteren Nadel dieselbe Drehung, in der oberen zwar eine entgegengesetzte, aber wegen der größeren Entfernung von ihr eine viel schwächere, so daß die Gesammtwirkung die vorige bleibt, welche noch durch die senkrechten Drahtstücke BC und DF unterstützt wird.

Wenn die astatische Nadel selbst eine äußerst geringe oder gar keine Richtkraft besitzt (in der Minute 1 bis 2 Schwingungen macht, nachdem sie aus der Ruhelage gebracht worden ist) und recht viele Windungen, zu physiologischen Untersuchungen mindestens 7 bis 8 Tausend, eines feinen Drahtes von absolut reinem Kupfer angewendet werden, so ist dieser von Nobili angegebene **Galvanometer**, oder auch **Thermomultiplikator** ein Instrument, dessen Leistungen bei Entdeckung des Vorhandenseins und der Richtung von elektrischen Thätigkeiten ans Unglaubliche gränzen. Zu thermoelektrischen Versuchen genügt ein Multiplikator mit 30 bis 100 Windungen, deren Draht etwa $^1/_3$ Millimeter dick ist.

Es läßt sich durch dieses Instrument u. a. nachweisen, daß auch zwei gleichartige Körper, wenn sie nur die geringste Verschiedenheit in der Härte, Farbe, Politur oder Temperatur oder bei einerlei Temperatur eine verschiedene Wärmekapazität, ein verschiedenes Strahlungsvermögen besitzen, bei der Berührung oder selbst der bloßen Annäherung einander elektrisch erregen, was sich in einem dieselben verbindenden metallischen Schließungsbogen zeigt, weil in ihm die verschiedenen Schwingungen beider einander begegnen und durch ihren Kampf miteinander und mit dem Beharrungszustande der Molekel die elektrischen Schwingungen hervorbringen. **Die Elektrizität ist also wohl die verbreitetste aller Naturerscheinungen.**

5. Endlich ist die Wärme nicht ohne Wirkung bei den **chemischen Erscheinungen**. Schon auf die Molekularanziehung zeigt sie sich von Einfluß, denn sie erhöht den Sättigungsgrad von Auflösungen und vermindert die Haarröhrchenanziehung; noch mehr aber zeigt sie sich auf die Atome der Stoffe wirksam, denn sie ist imstande, zusammengesetzte

Körper zu zersetzen, namentlich, wenn sie eine geringe chemische Verwandtschaft zu einander haben, oder wenn ihre Bestandtheile verschiedene Grade der Schmelzbarkeit oder der Verdunstungsfähigkeit besitzen. Viele Körper werden zersetzt, ehe sie schmelzen. Andererseits veranlaßt oder beschleunigt sie chemische Verbindungen, indem sie die Stoffe lockert und die Kohäsion vermindert. Leitet man Wässerdämpfe durch ein stark glühendes Platinröhrchen, so werden sie in Knallgas zerlegt — Wie durch Lichtschwingungen so schnelle und heftige Verbindungen bewirkt werden können, daß Explosionen entstehen, so auch durch die Wärmeschwingungen. Wasserstoffsuperoxyd z. B. enthält nämlich ein Aequivalent Sauerstoff im ozonisirten Zustande, d. h. in der negativelektrischen Spannungslage, in welcher es sehr leicht chemische Verbindungen eingeht (vergl. Bd. II. S. 284, 289) und dadurch Zersetzungen hervorbringt; eine Temperaturerhöhung ist schon zu einer solchen mit Explosion verbundenen Zersetzung hinreichend. Wie bei der Abgleichung elektrischer Gegensätze ohne Stoffumwandlung Licht entsteht, so auch durch die von der Wärme veranlaßte heftige und schnelle chemische Verbindung, wie sich eine solche auch in den Flammen zeigt.

IV. Nun wollen wir die Umsetzung der Elektrizität in die übrigen, in diesen Kreis gehörigen Erscheinungen untersuchen.

1. Die Erzeugung von **Licht** durch die Elektrizität ist bereits als ein durchaus charakteristisches Kennzeichen für diese bei der Abgleichung ihres Gegensatzes erkannt worden, so daß wir nur noch wenige Worte darüber anzuführen brauchen. Wenn das Licht im luftleeren Raume sich zeigt, so ist der Weltäther allein in Schwingungen begriffen; geht die elektrische Entladung durch irdische Körper, so bringen deren Molekel den in diesen Körpern enthaltenen Aether in leuchtende Schwingungen. Zu jeder Funkenentladung gehört ein gewisser Grad von elektrischer Spannung, zu deren Erlangung bei der dynamischen Elektrizität eine gewisse Zeit erforderlich ist, um auf eine Entladung wieder eine hinreichende Ladung folgen zu lassen. Diese Entladungen heißen deshalb auch **diskontinuirliche**, während in einem unterbrochen von Pol zu Pol gehenden Leitungsdrahte jeder auch noch so unbedeutenden Ladung eine sofortige Entladung nichts im Wege steht, und somit eine Lichterscheinung in dem Leiter selbst nur bei einer bedeutenderen elektrischen Spannung eintritt.

2. Ebenso gehört die Entwickelung von **Wärme** zu den in der Natur der statischen Elektrizität bei ihrer Abgleichung und der dynamischen überhaupt liegenden Eigenschaften. Werden nämlich die elektrischen Schwingungen der Molekel um ihre Schwerpunkte recht lebhaft, so gerathen sie bei den unaufhörlich auf sie ausgeübten Stößen selbst mit ihren Schwerpunkten in die schwingende Bewegung und wir haben dann die Bedingungen zu der Erscheinung der Wärme. Je mehr aber die

Molekel eines Leitungsdrahtes als Ganzes schwingen, oder je mehr in ihm die Wärme auftritt, desto weniger ist er für die Leitung der elektrischen Schwingungen geeignet, theils weil der Zusammenhang der Theilchen so gelockert ist, daß eine Mittheilung der Schwingungen des einen zu dem anderen erschwert ist, theils weil die energischen Wärmeschwingungen die schwächeren elektrischen nicht aufkommen lassen.

Leitet ein Körper die Elektrizität gut, so läßt er auch die Wärme in sich durch Reiben leicht entwickeln und leitet sie auch gut, weil die Massentheilchen für die Annahme beider Schwingungsarten leicht empfänglich sind; soll aber ein Nichtleiter der Elektrizität durch Reiben erwärmt werden, so geschieht dies um so leichter, je mehr er elektrisch ist und je weniger die Elektrizität während des Reibens aus ihm verschwindet, weil die elektrischen Schwingungen die Entstehung der Wärme begünstigt. Es entwickelt sich sogar beim Laden einer Verstärkungsflasche in den Belegungen eine so bedeutende Wärme, daß der Staniol an den Stellen, die man während der Zeit mit der Hand anfaßt, abgeht; denn es findet dabei stets eine gewisse mit Schwingungen verbundene Abgleichung statt.

In gleicher Weise begünstigen die Wärmeschwingungen die Entstehung der Reibungselektrizität. Deshalb ist es rathsam, die Elektrisirmaschine an den warmen Ofen zu bringen, wo überhaupt die Luft trockener ist, also besser isolirt und auch die vielleicht angelaufenen Instrumente trocken macht. — Feines Maschinenpapier wird durch Reiben, während es an einer warmen Ofenkachel liegt, leicht und stark elektrisch.

Die Verwandtschaft zwischen Elektrizität und Wärme geht so weit, daß sie sich förmlich ineinander verwandeln lassen und zwar sogar abwechselnd wiederholt und ohne in der Bewegungsgröße eine Aenderung hervorzubringen. Wenn man mehre gleichlange und gleichdicke Drahtstücke abwechselnd aus Platin und Silber aneinander löthet und leitet durch einen solchen Draht die Elektrizität einer hinreichend starken Kette von gleichbleibender Kraft, so werden alle Platinstücke gleichmäßig erwärmt oder glühend, die Silberstücke aber nicht, wobei es gleichgiltig ist, welches Metall mit dem positiven Pole in Verbindung steht. Hier wird also abwechselnd Elektrizität aus Wärme, indem ja alle folgenden Platinstücke durch die elektrischen Schwingungen der Silberstücke dieselbe Temperatur erlangen. Der Leitungswiderstand verwandelt Elektrizität in Wärme und der Grad der Erwärmung steht mit der Leitungsfähigkeit im umgekehrten, mit dem Widerstande in gradem Verhältnisse. — Platin leistet einen größeren Widerstand, als Kupfer, daher zeigen sich auch bei jenem lauter kleine leuchtende dicht auf einander folgende Stellen, bei diesem nicht, und jenes wird eher erwärmt, als dieses.

Wurde bei einer geschlossenen thermoelektrischen einfachen Kette die eine Löthstelle erwärmt, oder die andere abgekühlt, oder beides gleichzeitig gethan, so entstand in allen Fällen eine elektrische Bewegung von

derselben Richtung. Wenn man im Gegentheile durch die Thermokette eine elektrische Bewegung von dieser Richtung aus irgend einer Quelle führt, so wird die im vorigen Falle äußerlich erwärmte Löthstelle jetzt durch die Elektrizität warm und die im vorigen Falle äußerlich abgekühlte wird jetzt bei Durchleitung der Elektrizität kalt. Diese elektrothermische Differenz in den beiden Löthstellen kann so bedeutend werden, daß in einer kleinen Vertiefung auf der kalten etwas Wasser von 0° sogar sich in Eis verwandelt wird, was eine höchst auffallende und interessante Erscheinung ist. Der Grund davon liegt darin, daß die elektrischen Schwingungen bei dem Uebergange in das schlechter leitende Metall durch seinen Widerstand in der ihm vorangehenden Löthstelle zurückgehalten und so bei der fortwährend fortgesetzten Einwirkung beschleunigt werden, was eine höhere Temperatur gibt, während bei dem Uebergange der Schwingungen in das gut leitende Metall, welches sie schnell fortführt, an der vorangehenden Löthstelle eine Verzögerung in der Bewegung entsteht, was Kälte gibt.

Zu dieser Kälteerzeugung mittelst der elektrischen Bewegung steht in einem auffallenden Gegensatze die enorme Hitze, welche bei Anwendung von etwa 60 bis 70 groveschen oder bunsenschen Elementen imstande ist, Quarz und Kalk zu schmelzen und aus Kohle mikroskopische Diamanten zu erzeugen. Hierbei werden die elektrischen Schwingungen nur in dem Körper aufgehalten, welcher die Temperaturerhöhung erfährt. Man bedarf, um Platina glühend zu machen, eines nur sehr kleinen Apparates.

Wenn man einen silbernen Nähring platt drückt, mittelst Siegellack ein Zinkplättchen in den Zwischenraum befestigt und die beiden Metalle äußerlich durch ein sehr feines Platinstreifchen verbindet, so geräth dieses ins Glühen, wenn man diesen Fingerhutapparat bis über die Hälfte schnell in verdünnte Säure taucht.

Wir können dieses Gebiet verlassen, da wir bereits früher die mit der Elektrizität verbundenen Wärmeschwingungen wohl ziemlich ausreichend besprochen haben.

3. Wir kommen zur Entwickelung des Magnetismus durch die Elektrizität oder zu dem Elektromagnetismus; welcher für das praktische Leben so ungemein wichtig geworden ist. Es ist zwar für die Erreichung des Resultates, d. h. hier für die Entwickelung des Magnetismus völlig einerlei, durch welche Mittel die Elektrizität, welche ihn erzeugen soll, hervorgebracht worden ist, ob durch Reibung, oder durch Molekularbewegung oder durch Wärmeunterschiede; aber wenn es darauf ankommt, den Magnetismus in möglichster Stärke und mit unfehlbarer Sicherheit zu erlangen, so ist die zweite Quelle die beste.

Führt man um eine Stahlnadel, welche isolirt in einer Glasröhre enthalten ist, einen Leitungsdraht in einer rechts gewundenen Spirale (s. Fig. 406), bringt man den Anfang a desselben mit der positiven,

das Ende c mit der negativen Belegung einer geladenen Verstärkungsflasche oder Batterie in Verbindung; so wird durch die Entladung die Stahlnadel r n zu einem Magneten, dessen Südpol am Anfange r, Nordpol am Ende n der Spirale sich befindet. Bei einer links gewundenen Spirale würden die Pole entgegengesetzt werden (s. Fig. 407).

Diese Magnetisirung geschieht grade wie durch die Thermoelektrizität. Zugleich finden zwei frühere Behauptungen eine Bestätigung, nämlich

> daß die positive Elektrizität sich wie positiver Magnetismus, die negative wie negativer sich verhält,

und

> daß gleichgerichtete Bewegungen, elektrische wie auch magnetische, sowohl jede für sich, als auch gegenseitig das Bestreben der Anziehung und daß entgegengesetzt gerichtete Abstoßung äußern.

In einem bereits vorhandenen Stahlmagneten äußert sich der positive Magnetismus in einer linksgewundenen Spirale um den Magneten; es ist also auch natürlich, daß die positive Elektrizität links von ihrer Richtung in einem Stahlstabe den positiven Magnetismus hervorrufen muß; denn es findet nicht nur bei vorhandenen gleichgerichteten Bewegungen (ungleichnamigen Elektrizitäten, ungleichnamigen Magnetpolen) eine Anziehung statt, sondern es wird auch durch eine bereits vorhandene Bewegung eine gleichgerichtete hervorgerufen oder eingeleitet (induzirt).

Würde der Entladungsschlag unmittelbar durch die Nadel geführt, so würde sie zwar auch magnetisch, aber schwächer. Einfache Gewitterschläge sind freilich imstande, Eisenstangen von nicht zu weichem Eisen ziemlich stark magnetisch zu machen, besonders wenn sie ziemlich lothrecht stehen, weil in diesem Falle der Erdmagnetismus auch noch von Einfluß ist. Durch einen in der Nähe einer Magnetnadel einschlagenden Blitz wird ihr Magnetismus bisweilen umgekehrt.

Bei der statischen Elektrizität wirkt nur die während der Entladung im Leitungsdrahte stattfindende einmalige Schwingung der Molekel magnetisirend auf den Stahl. Die Molekel haben nämlich, um aus ihrer Spannungslage, in welcher sie ein Viertel einer Schwingung vollendet haben, in die ursprüngliche unelektrische Gleichgewichtslage zurückzukehren, noch die letzten drei Viertel der Schwingung zu vollenden. Da nun davon die ersten zwei Viertel dem letzten ein Viertel entgegengesetzt gerichtet sind, so bleibt in dem Stahle, dessen Molekel an dieser Schwingung theilnehmen, noch ein Viertel Schwingung in einer festen Lage als Magnetismus zurück. — Ein gleich starker Entladungsschlag bei Umtauschung der von den beiden Belegungen ausgehenden Drähte hebt den entstandenen Magnetismus wieder auf.

Die Magnetisirung eines Stahl- oder Eisenstabes durch dynamische Elektrizität muß viel energischer geschehen, weil durch die lebendigen

Schwingungen der Molekel des Leitungsdrahtes die Molekel von jenen in die neue Spannungslage gewissermaßen hineingerüttelt und festgesetzt werden, was beim Stahle selbst nach einer äußerst kurzen elektrischen Einwirkung auf die Dauer, beim Eisen nur für diese Zeit geschieht. Wird nämlich die elektrische Bewegung im Leitungsdrahte unterbrochen, so hört auch in dem ganz weichen Eisen der Magnetismus auf.

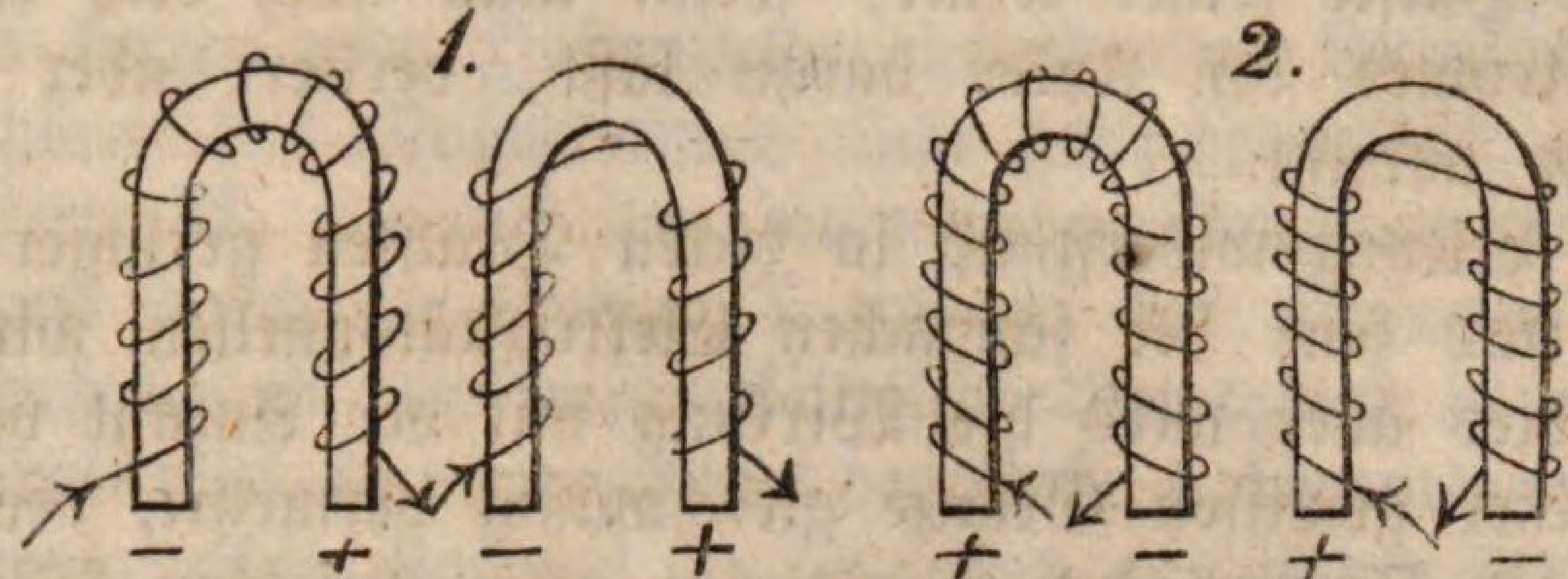
Auch hier zeigt sich, daß eine Drehung des in einer elektromagnetischen Spirale befindlichen Stabes oder Drahtes von Eisen um seine Axe den Magnetismus verstärkt, welchen er annimmt, wofern die Drehung im rechten Sinne geschieht. — Ist der Eisenstab vor seiner Magnetisirung gedreht, so kann er um einen bestimmten Winkel zurückgedreht werden, wenn er magnetisirt wird. — Wenn die Zurückdrehung des Drahtes bis zu einer bestimmten Gränze geschehen ist, so bewirkt ein entgegengesetzter elektrischer Strom eine Zurückdrehung, ein dem früheren gleichgerichteter aber eine Aufdrehung. — Die Drehung des Stabes nach der Magnetisirung erregt in einem um ihn gewundenen geschlossenen Leitungsdrahte einen elektrischen Strom, welcher den früheren magnetisirenden entgegengesetzt ist, die Aufdrehung einen gleichgerichteten.

Diese Thatsachen sind ein deutlicher Beweis von der wiederholt aufgestellten Behauptung, daß der Magnetismus in einer einseitig festgehaltenen, also erzwungenen Schwingungslage besteht und daß auch die dynamische Elektrizität in Schwingungen der Molekel um eine solche Lage stattfindet.

Wenn man um einen Stahlstab den Leitungsdraht in kurzen Zwischenräumen abwechselnd in einer rechts und links gewundenen Spirale leitet, so wechseln, dieser Umkehrung entsprechend, in dem Stabe der magnetische Nord- und Südpol miteinander ab. Man sagt: der Stab hat magnetische Folgepunkte oder er ist diskontinuirlich magnetisirt. Wechselt man die Spiralrichtung nur einmal und zwar genau in der Mitte einer zu magnetisirenden Nadel, so bekommt man eine astatische Nadel mit gleichnamigen Polen an den beiden Enden und mit ungleichnamigen in der Mitte.

Wenn nun schon die Magnetisirung des Stahles durch die dynamische Elektrizität sehr erwünscht ist, weil sie augenblicklich bei Schließung der Kette stattfindet und weil sie nicht nur sehr kräftig, sondern auch sehr gleichmäßig geschieht, so daß man auf diese Weise viel besser, als durch das Streichen starke Magnete und auch astatische Nadeln von großer Empfindlichkeit herstellen kann, so ist doch das so ungemein energische, mit dem Eintreten und Aufhören der elektrischen Bewegung im Schließungsdrahte so innig verknüpfte Erscheinen und Verschwinden des Magnetismus im weichen Eisen in praktischer Beziehung unendlich folgenreicher. Wir wollen demnach darüber das Wichtigste anführen.

Es ist für die Gesammtwirkung eines Magneten auf weiches Eisen zwar gleichgiltig, welche Gestalt derselbe hat; aber es ist theils bequem, theils zur Unterstützung der Trennung beider Polaritäten angemessen, beide Pole gleichzeitig auf dasselbe Eisenstück, den Anker, wirken zu lassen und deshalb die Hufeisenform zu wählen.



(Fig. 410.)

Wenn die in Fig. 406 und 407 grade gezeichneten Eisenstäbe mit ihren Spiralen in der Mitte gekrümmt werden, so bekommen wir die in Fig. 410 dargestellten hufeisenförmigen Elektromagneten. Im ersten Falle ist die Spirale eine rechts, im zweiten Falle eine links gewundene, und wenn in ihr die positivelektrische Bewegung in der Richtung der Pfeile geht, so geben die unten beigesetzten Zeichen den im Eisen entstandenen Magnetismus an.

Die Kraft des Elektromagneten kann bezogen werden entweder auf das Gewicht, welches der an beide Pole gelegte Anker höchstens zu tragen vermag, oder auf die Stärke der Anziehung, welche der Elektromagnet durch einen dicht auf seine Polflächen gelegten ganz dünnen Körper zu äußern imstande ist. Die Anziehungskraft ist von der Tragkraft ein nur geringer Theil.

Höchst auffallend ist der Unterschied der Tragkraft eines Poles und beider Pole eines hufeisenförmigen Stahlmagneten und Elektromagneten. Wenn ein Stahlmagnet in Hufeisenform 10 Pfund trägt, so hält ein Pol mehr als 2 Pfd.; wenn aber ein solcher Elektromagnet 140 Pfund trägt, hält ein Pol nur 1—2 Pfde.

Die Tragkraft ist abhängig 1) von der Stärke der elektrischen Erregung, 2) von der Dicke und Gestalt des angewendeten Eisenkernes, 3) von der Leitungsfähigkeit und Dicke des Spiraldrahtes.

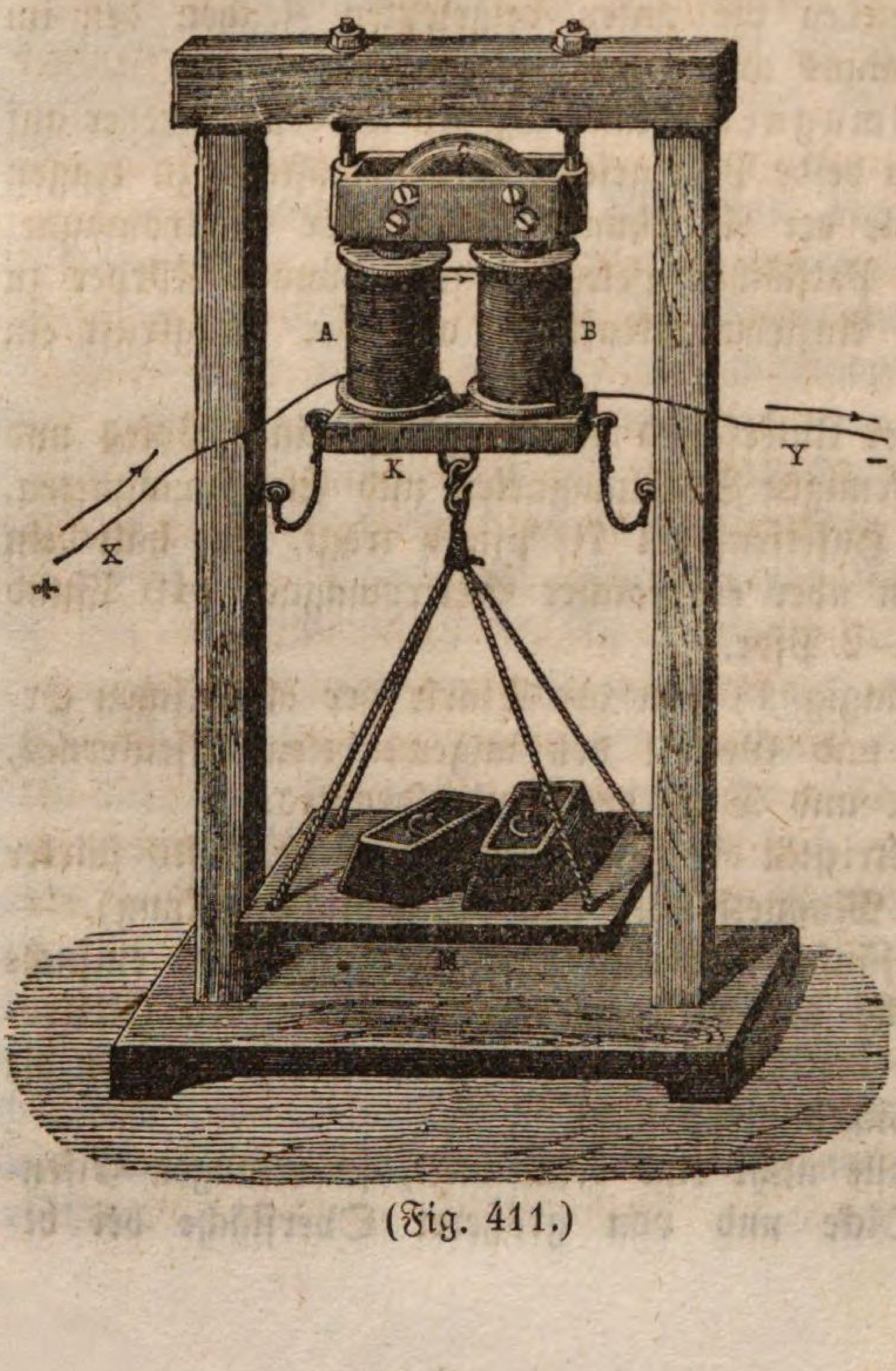
Je größer bei der Elektrizität die Hauptschwingung ist, desto stärker wird der durch sie erregte Magnetismus sein (Intensitätswirkung). — Viele Elemente (eine Kettensäule) sind also wirksamer, als eine einfache Kette mit ebensogroßer Fläche der Elektromotoren. Für jeden Elektromagneten gibt es aber eine bestimmte Gränze, über welche hinaus die Verstärkung des Stromes nichts mehr nutzt.

Ist die Elektrizitätsquelle nicht eine beschränkte, so erlangen Eisenkörper von bedeutenderer Dicke und von größerer Oberfläche bei be-

stimmter Masse einen stärkeren Grad von Magnetismus, als im entgegengesetzten Falle. — Die Entfernung und Länge der Schenkel des Eisenkernes ist unter übrigens gleichen Umständen von keinem Einflusse auf die Tragkraft und Anziehungskraft des Elektromagneten. Bemerkenswerth aber ist der Einfluß des Ankers; denn der Elektromagnet behält etwa die Hälfte seiner Kraft, wenn man nach dem Aufhören des elektrischen Stromes den Anker daran läßt, verliert aber diesen Rest, wenn man ihn abreißt.

Da der Leitungswiderstand in dicken Drähten geringer ist, als in dünnen, so sind jene bei schwachen Elektrizitätsquellen wirksamer, als diese. Ueberdies aber wird die Wirkung mit der Anzahl von Windungen bis zu einer gewissen Gränze gleichmäßig vermehrt, denn die ganze Wirkung ist die Summe der Wirkungen aller einzelnen Windungen. — Man kann also mit einer schwachen Kette einen starken Elektromagneten erhalten, wenn der Spiraldraht dick ist und viele Windungen hat. Die Weite der Windungen ist unter übrigens gleichen Umständen, namentlich auch bei einer bestimmten Länge des Drahtes ohne Einfluß, wenn das Eisen nur hinreichend aus der Spirale hervorragt.

Starke Ketten und wenig Draht zu nehmen ist wohlfeiler, als schwache Ketten und vielen Draht.



(Fig. 411.)

Der stärkste Magnetismus wird überhaupt erhalten, wenn der ganze Widerstand des die Spirale bildenden Leitungsdrahtes gleich ist dem ganzen Widerstande der Säule.

Je näher endlich die Windungen des Spiraldrahtes bei einer bestimmten Länge desselben und unter übrigens gleichen Umständen den Polenden des Elektromagneten sind; desto mehr nimmt seine anziehende Kraft zu und desto eher tritt überhaupt die möglichst größte Stärke des Magnetismus oder der Sättigungsgrad ein. Man kann die Drahtspiralen auf zwei hölzerne Holzzylinder winden und diese über die Polenden

des Eisenkernes stecken. — Fig. 411 zeigt einen Elektromagneteu für Tragversuche im Großen. Bei C ragt der hufeisenförmige Eisenkern hervor, welcher durch einen kupfernen Träger oder auch auf eine andere Weise an ein starkes Holzgestell befestigt ist. A und B sind die beiden aufgesteckten Drahtrollen, welche eine linksgewundene, oben zusammenhängende Spirale enthalten; K ist der Anker aus weichem Eisen, welcher an zwei kurzen vom Holzgestelle ausgehenden Ketten hängt, damit er beim Aufhören des Magnetismus nicht ganz herabfällt; an dem Anker hängt ein Brett M, um auf ihm die nöthige Belastung anzubringen.

Wird nun durch die Enden X und Y der Spirale die Kette so geschlossen, daß bei X die positivelektrische Bewegung in eine links gewundene Spirale tritt, so wirddas aus der Rolle A hervortretende Ende des Eisens der magnetische Nordpol (+M), das aus B der Südpol (—M).

Es ist erstaunlich, welche ungemein große Tragfähigkeit die Elektromagnete erlangen können. Elektromagnete von 15 bis 16 Pfd. Gewicht hat man zu einer Tragkraft von mehr als 2500 Pfunden gebracht. — Eisenlohr fertigte aus einer schadhaft gewordenen Lokomotivaxe einen Elektromagneten, bei welchem 500 Meter Kupferdraht von 0,45 Zentimeter Durchmesser in sechs Lagen mit je 70 Windungen die Spiralen bildeten. Bei Anwendung von nur 20 groveschen Elementen vermochte nur einer der Pole mehr als 500 Pfunde zu tragen und mit Anwendung eines Ankers würde sich die Tragkraft auf mehr als 100 Zentner steigern.

Man hat theils von der Kraft des Elektromagnetismus, theils von der ausgezeichneten Eigenschaft, ihn nach Belieben plötzlich hervorzurufen und wieder zu vernichten, die vielseitigsten und folgenreichsten Anwendungen gemacht. Der Elektromagnetismus dient zur Herstellung sehr kräftiger Magnete, zur Unterhaltung eines gleichmäßigen Kohlenlichtes, zur Erhöhung der Stärke der Induktionsströme, zur Unterbrechung der Induktorkette, als Kraft für Maschinen, zur Einrichtung von Klingelzügen, Glockensignalen und Weckern überhaupt, zur Anfertigung gleichmäßig zeigender Uhren in beliebigen Entfernungen von einander, zur Bestimmung sehr kleiner Zeittheile und großer Geschwindigkeiten und endlich zur Telegraphie. Wir wollen das Wichtigste davon anführen.

a) Es ist eine sinnreiche Einrichtung erfunden worden, um mittelst eines Elektromagneten ein gleichmäßiges Kohlenlicht (s. S. 348) zu erzielen. Da nämlich von der Kohle am positiven Poldrahte stets Kohlentheilchen übergeführt und verflüchtigt werden, und sich daselbst ein Grübchen bildet, so entfernen sich die Kohlenspitzen voneinander, die Stärke der elektrischen Bewegung wird durch den wachsenden Widerstand der Luft vermindert und es tritt ein Augenblick ein, in welchem das Licht plötzlich verlischt, was die praktische Anwendbarkeit desselben sehr beeinträchtigt. Um aber den obigen Zweck zu erreichen, bringt man die eine Kohlenspitze über der anderen an, verbindet den negativen Poldraht

der Batterie mit der oberen festgehaltenen Kohle, welche aber etwas auf und ab geschraubt werden kann, den positiven mit der unteren, nachdem er die Windungen eines Elektromagneten gebildet hat. Die untere Kohle steht mit dem Anker in fester Verbindung, wird durch eine Feder (oder ein Gewicht) bis an die obere gezogen, wenn die Elektrizität nicht wirksam ist, während der Anker sie nach unten zieht, falls er selbst durch den Elektromagneten angezogen wird. Wird die Kette geschlossen, so entfernt man die obere Spitze so weit, daß das Licht in der nöthigen Stärke erscheint und schraubt sie dann fest. Nun kann die Entfernung der Kohlenspitzen sich nicht mehr ändern, denn wenn auch durch theilweise Verzehrung der unteren ihr Abstand einen Augenblick größer würde, so zöge wegen der dadurch hervorgebrachten Schwächung der elektrischen Bewegung und des durch sie erzeugten Magnetismus die Feder (oder das Gewicht) die untere Kohle an dem nicht mehr so stark angezogenen Anker sofort empor und stellte die normale Entfernung wieder her. So regelt das elektrische Licht sich selbst, welches mit Anwendung passender Reverberen (Bd. II. S. 53) außerordentliche Erfolge erzielen läßt.

Bei dieser Gelegenheit mag noch das äußerst kräftige Magnesiumlicht erwähnt werden. Ein Draht von Magnesium, ½ Zoll lang, 1 Linie stark, entwickelt ein Licht, welches chemisch nur 36 mal schwächer wirkt, als Sonnenlicht, und 4 Loth dieses Drahtes reichen aus, 10 Stunden lang das Licht von mehr als 70 Wachskerzen zu ersetzen. Mit etwa 10 Gran Magnesiumdraht (für etwa 10 Sgr.) kann man in einigen Minuten ein photographisches negatives oder positives Bild herstellen.

b) Durch Elektromagnete werden diejenigen rechtzeitigen Unterbrechungen der Induktorkette (s. S. 341) hervorgebracht, welche geeignet sind, die Stärke der Induktionselektrizität zu erhöhen, wodurch oft namhafte Erfolge erreicht werden.

c) Ferner hat man sich bemüht, die im Elektromagnetismus wirksame Kraft zum Betriebe von Maschinen zu verwenden. Die außerordentlich große Bequemlichkeit in der Anwendung desselben und die völlige Gefahrlosigkeit mußten bei den vielen Unglücksfällen, welche durch Explosionen bei Dampfmaschinen vorkommen, zu Versuchen anspornen.

Wenn nun auch trotz aller ausgesetzten hohen Preise ein bedeutendes Resultat nicht erreicht worden ist und, wie eigentlich aus der richtig aufgefaßten Theorie der Elektrizität erwartet werden mußte, auch nicht erlangt werden konnte, weil hier die Molekel nur um ihre Schwerpunkte schwingen, und nicht, wie bei der Wärme, mit ihren Schwerpunkten; so ist es doch immerhin von Interesse, die hierher gehörigen Leistungen einigermaßen kennen zu lernen. Ueberdies ist freilich auch für kleinere Leistungen der Elektromagnetismus wegen des Verbrauches von Zink und Schwefelsäure zu kostbar. Der Verbrauch an Zink allein in einer Zink-Platin-Batterie beträgt auf 24 Stunden für eine Pferdekraft

ungefähr einen halben Zentner im Werthe von 4 bis 5 Thalern, während eine gut gebaute Dampfmaschine zu dieser Leistung für etwa 4 bis 5 Sgr. Kohlen verbraucht.

Die elektromagnetische Kraft kann zu einer zweifachen Bewegung verwendet werden: zu einer hin- und hergehenden oder zu einer drehenden. Jene läßt sich wie bei den Dampfmaschinen auch in eine drehende verwandeln.

In dem ersten Falle hat man zwei starke, festgehaltene, hohle Kupferdrahtspiralen A und B und zwei dazu gehörige und leicht hineingehende Eisenkerne a und b, welche in jene abwechselnd gezogen werden, wenn man die Elektrizität abwechseld durch sie leitet. Man kann nun die Verbindung der Eisenkerne auf doppelte Weise bewerkstelligen:

1) Die beiden Eisenzylinder liegen mit ihren Axen in grader horizontaler Richtung und sind durch eine Messingstange mit einander verbunden, welche sie in einer solchen Entfernung hält, daß, wenn b außerhalb der Spirale B liegt, sich a in A befindet und umgekehrt. Die Fortsetzung der gemeinschaftlichen Axe wird durch einen festen Rahmen getragen und bewirkt außerhalb desselben mittelst einer Gelenkstange (Pleuelstange) die Drehung der Kurbel eines Schwungrades. Ein mit der Axe des Schwungrades verbundenes Excentric bewirkt abwechselnd die rechtzeitige Ueberführung der Elektrizität aus der einen Spirale in die andere.

2) Die festen Drahtspiralen und die beweglichen Eisenkerne können auch lothrecht stehen; die letzteren sind dann durch Stangen an den beiden Enden eines Balanciers drehbar befestigt, so daß sie abwechselnd sich ab- und aufwärts, also in die Spiralen und aus ihnen sich bewegen können, jenachdem die betreffende Spirale elektrisch ist oder nicht. An dem einen Ende des Balanciers ist eine Fortsetznng mit Gelenken, welche wieder ein Schwungrad in Bewegung setzt. Das Schwungrad gleicht in beiden Fällen die Unregelmäßigkeit der Bewegung aus; denn der Eisenkern will seine Bewegung beschleunigen, bis seine Mitte in der von der Spirale liegt.

Im zweiten Falle veranlaßt ein Elektromagnet selbst und unmittelbar die drehende Bewegung. Es müssen zu diesem Zwecke mindestens zwei Elektromagnete vorhanden sein, von welchen der eine A befestigt ist, seine Polfüße N und S nach oben gerichtet hat und eine bleibende Polarität besitzt, der andere B aber über ihm seine ebensoweit voneinander entfernten Pohlfüße n und s nach unten kehrt, um eine durch seinen Schwerpunkt gehende lothrecht befestigte Axe drehbar ist und eine bei jeder halben Drehung wechselnde Polarität bekommt. Sind beide Eisenkerne magnetisch geworden, sind N und n die Nordpole, S und s die Südpole, so stellt sich der obere B so über den unteren A, daß n über S und s über N steht. Wenn nun in dem Augenblicke, in welchem der obere Magnet bei seiner Drehung diesen Punkt erreicht, die Pola-

rität in ihm umgekehrt wird, so geht er nicht nur wegen des Beharrungsvermögens über diesen Punkt hinaus, sondern wird noch durch den unteren Magneten fortgestoßen, weil jetzt gleichnamige Pole einander nahe sind. Wenn der obere Magnet B eine Vierteldrehung gemacht hat, so führt ihn nicht nur das Beharrungsvermögen darüber fort, sondern es wirken auch von der anderen Seite die ungleichnamigen Pole des A auf seine Pole anziehend. Hat B eine halbe Drehung gemacht und wird die Polarität wieder umgekehrt, so tritt der erste Fall ein und so kann eine fortdauernde Drehung erreicht werden, welche sich durch die mitgedrehte Axe weiter benutzen läßt. A könnte hierbei zwar ein Stahlmagnet sein, aber man nimmt auch einen Elektromagneten wegen der kräftigeren Wirkung. Statt eines Paares können auch zwei oder mehre Paare von Magneten verwendet werden, welche so zu stellen sind, daß ihre Pole abwechselnd und in gleichen Abständen aufeinander folgen.

Die Umkehrung der Polarität in dem oberen Magneten geschieht während seiner Drehung vonselbst. Die durch ihn gehende Axe trägt über ihm eine Holzscheibe, in deren Umfang zwei metallische Halbringe eingelassen sind, welche durch zwei schmale Holzstreifen von einander isolirt gehalten werden. Von einem Ständer aus gehen in gleicher Höhe mit der Holzscheibe zwei Metallfedern, welche in diametral gegenüberliegenden Stellen an dem Umfange bei der Drehung hinschleifen. Der obere Eisenkern B ist für sich mit einer Drahtspirale umwunden, deren beide Enden an die beiden Halbringe gelöthet sind.

Berühren beide Metallfedern die beiden Halbringe, so werden die beiden Eisenkerne dadurch zu Magneten, daß der eine Poldraht der elektrischen Batterie nach dem Anfange der Spirale des A geht, ihr Ende steht mit der ersten Feder in leitender Verbindung, von da geht die Elektrizität durch den von ihr berührten Halbring in die Spirale des B, von da in den zweiten Halbring, in die zweite Feder und dann nach dem anderen Poldrahte der Batterie. Sowie die Federn die schmalen Holzstreifen berühren, ist nur A ein Magnet, sowie aber jede Feder den anderen Halbring berührt, ist für B die Polarität umgekehrt.

Die Kraft eines solchen Apparates ist dadurch etwas beeinträchtigt, daß das Eisen so schnell den Magnetismus nicht verliert und den entgegengesetzten annimmt, als es hier bei der Drehung des Elektromagneten nothwendig wäre. Deshalb hat man die Einrichtung getroffen, daß sich ein Elektromagnet mit bleibender Polarität in einer elektrischen Spirale bewegt, in welcher die Stromrichtung umgekehrt wird. Hat der Elektromagnet einer solchen Maschine eine Länge von 1 Centimeter, so erreicht man mit 5 bunsenschen Bechern eine Leistung von 5⅓ Fußpfunden oder etwa $\frac{1}{100}$ Pferdekraft, wenn 510 Fußpfunde 1 Pferdekraft geben.

Schon im Jahre 1838 ließ Jacobi in St. Petersburg ein Boot von 26 Fuß Länge und 8 ½ Fuß Breite bauen, dessen Schaufelräder durch einen Elektromagneten in Bewegung gesetzt wurden, wozu man 320 daniellsche Elemente brauchte. Das mit 12 Personen besetzte Schiff legte ⅓ deutsche Meile in der Stunde zurück. Im folgenden Jahre wurde ein anderes Boot von 28 Fuß Länge, 7 ½ F. Breite und 2 ¾ F. Tiefgang für 14 Personen gebaut und durch 64 grovesche Elemente fast eine Pferdekraft erzielt, so daß es zu einer Geschwindigkeit von ½ deutsche Meile für die Stunde gebracht wurde.

d) Es liegt ferner ziemlich nahe, den Elektromagnetismus zur Einrichtung von Mitteln anzuwenden, welche geeignet sind, die Aufmerksamkeit hervorzurufen, wie es durch Klingelzüge, Glockensignale und Wecker geschieht.

Bei Klingelzügen wird es nur nothwendig sein, den Anker des Elektromagneten um das eine seiner beiden Enden drehbar zu machen und an das andere Ende den Draht zum Klöppel einer Glocke zu befestigen. Sowie man durch einen mit einem Finger leicht zu bewegenden Drücker die Kette, welche irgendwo aufgestellt ist, schließt, wird der Anker angezogen und die Glocke erhält einen Schlag; öffnet man die Kette, so wird der Anker durch eine Feder zurückgezogen. Man hat es somit in seiner Gewalt, durch eine beliebige Anzahl von Glockenschlägen, welche in gleichen oder ungleichen Zwischenzeiten auf einander folgen können, nach vorgängiger Verabredung verschiedene Zwecke zu erreichen. Auch läßt sich durch kleine drehbare Stellscheiben leicht erfahren, ob das gegebene Signal verstanden worden ist.

Die Glockensignale für Eisenbahnwärter werden durch Auslösung eines Gewichtes hervorgebracht, welches bei seinem langsamen Fallen mittelst eines einfachen Räderwerkes die Klöppel für die Glocken in Bewegung setzt.

Endlich ist klar, daß auch das Werk eines Weckers, wie es bei den Wand- und Tischuhren vorkommt, durch einen Elektromagneten ausgelöst und dadurch in Bewegung gesetzt werden kann, um die Aufmerksamkeit für irgendeine vorzunehmende Handlung rege zu machen.

e) Wichtig sind ferner die elektromagnetischen Uhren. Sie dienen entweder zur Herstellung vollkommen übereinstimmender Zeitmesser, welche an sehr verschiedenen und auch weit voneinander entfernten Orten angebracht sein können, oder zur Bestimmung sehr kleiner Zeitabschnitte zwischen zwei bestimmten Zeitpunkten und somit auch zur Messung großer Geschwindigkeiten.

In New-York befindet sich auf dem Steuerhause eine lothrechte Metallspindel mit einer großen schwarzen hohlen Kugel an ihrem oberen Ende. Gegen 12 Uhr mittags steht gewöhnlich eine große Menge von Menschen mit Uhren in der Hand, welche auf die Kugel sehen; denn in dem Augenblicke, in welchem die Sonne auf der Sternwarte zu Phila-

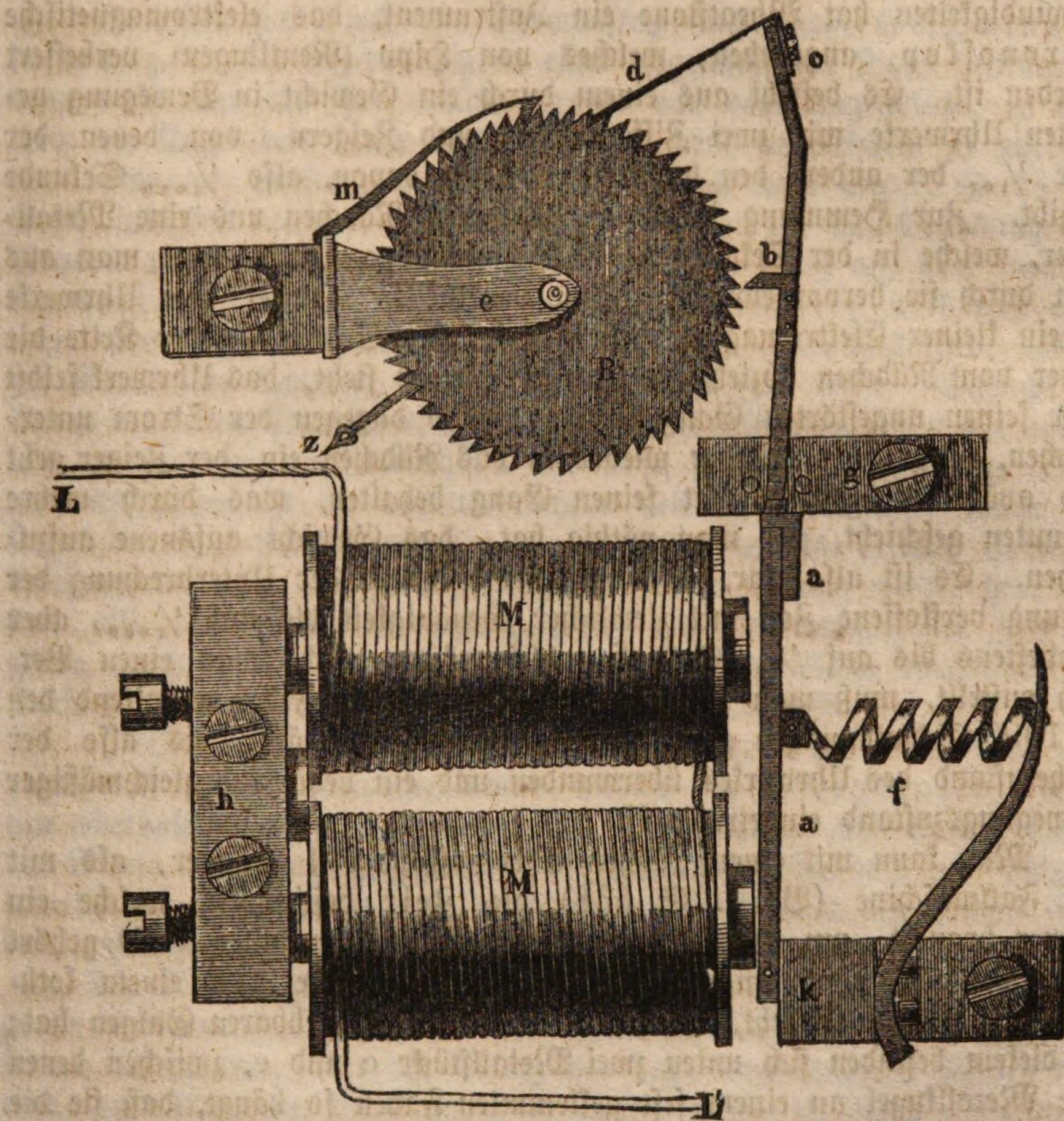
delphia in den Meridian tritt, fällt die Kugel an der Spindel eine Strecke herab. Die Auslösung geschieht durch die von Philadelphia aus durch Schließung einer galvanischen Kette bewirkte Anziehung des Ankers eines Elektromagneten in New York.

Nach dieser Einrichtung kann man wenigstens einmal täglich seine Uhr hinreichend richtig stellen und hat so, wenn dieselbe sonst regelmäßig und gut geht, stets eine ziemlich richtige Zeit. Freilich hat man selten so gute Uhren, daß sie blos eine Abweichung von einer Sekunde im täglichen Gang ergeben.

Viel angemessener ist es, eine genau gehende Regulatoruhr auf elektromagnetischem Wege mit bloßen Zeigerwerken, welche in den verschiedensten Theilen einer Stadt angebracht sein können, so in Verbindung zu bringen, daß alle genau dieselbe Zeit angeben. Die Normaluhr ist eine ganz genau gehende Pendeluhr, welche bei dem einen Pendelschlage für eine Sekunde eine mit ihr in Verbindung stehende Batterie öffnet, bei dem nächsten sie schließt und so abwechselnd fort. Geht nun von dieser Uhr ein Leitungsdraht zu den verschiedenen Zeigerwerken, deren jedes einen Elektromagneten besitzt, so wird die Bewegung seines Ankers beim abwechselnden Oeffnen und Schließen der Kette jedesmal einen von den 60 Zähnen der Sekundenräder mit ihren Zeigern in gleichzeitige Bewegung versetzen und so fortrücken wie bei einem Buchstabentelegraphen. Die Sekundenbewegung läßt sich nun wie bei jeder gewöhnlichen Uhr durch Räder auf einen Minuten- und Stundenzeiger übertragen. — Wären statt der Zeigerwerke ungenau gehende Uhren vorhanden, so ließen sich dieselben in gewissen Zeitabschnitten, z. B. alle halbe Stunden, mit der Normaluhr in Uebereinstimmung bringen.

Uebrigens läßt sich statt der Gewichte oder Federn auch die Elektrizität einer konstanten Kette als Triebkraft für ein Uhrwerk benutzen. Ueber ein Jahr wirksam zeigt sich eine Zink-Coaks-Kette, bei welcher das Zink mit Alaun oder Weinstein in Berührung ist. Man hängt zu diesem Zwecke in einen großen Topf einen Sack mit Zink und Alaun oder Weinstein, legt zwischen den Sack und Topf einen langen Bleidraht in verschiedenen Krümmungen, füllt die Zwischenräume mit kleinen Coaksstücken aus und gießt den Topf voll Wasser. Mehre Monate gleichmäßig wirksam ist eine Zink-Kupfer-Kette, bei welcher das Kupfer in einer Mischung aus 5 Raumtheilen englischer Schwefelsäure in 100 Raumtheilen Wasser und das Zink in einem Thonzylinder steht, welcher in dem Wasser ein mit Weinstein gefülltes Säckchen enthält. Man hat auch eine Zink- neben einer Kupferplatte in den Erdboden versenkt und will dadurch eine ziemlich lange sich gleichbleibende Elektrizität erhalten haben. — Die Poldrähte einer solchen Kette gehen nun nach dem oberen Ende der Pendelstange einer Uhr, von da an ihr herab und bilden unten statt des Pendelkörpers eine horizontal liegende Spirale von mehren Tausend Windungen, in welcher durch einen Stromwender die Strom-

richtung umgekehrt wird, sowie die Spirale bei ihrer Bewegung den tiefsten Punkt erreicht. Die Bewegung wird unterhalten durch zwei feststehende Stahlmagnete, welche abwechselnd in die Spirale eintauchen und einander gleichnamige Pole zuwenden. Da die Spirale an ihren Enden entgegengesetzte Polarität hat, so wird das eine Ende von dem nächsten Magnetpole abgestoßen und das andere gleichzeitig von dem anderen angezogen. Ist die Spirale über den tiefsten Punkt gelangt, so wird wegen der Veränderung ihrer Polarität zwar die Rolle der beiden Magneten umgetauscht, dadurch aber der zweite Theil der Schwingung in gleicher Weise hervorgebracht, wie der erste, und so werden die Schwingungen auch weiter unterhalten.



(Fig. 412.)

Fig. 412 ist geeignet, eine Vorstellung des wesentlichen Vorganges hierbei zu vermitteln. Der Leitungsdraht L L′ steht mit der Normal-

uhr in Verbindung, durch deren Pendelschläge die Kette abwechselnd geschlossen und geöffnet wird; er geht hier um zwei Eisenkerne so, daß er deren aus der Spirale hervorragende Enden in gleichem Sinne magnetisch macht, wenn die Kette geschlossen ist. Geschieht dieses, so wird der durch die Feder f bis an k weggezogene Anker aa angezogen und die gegliederte Fortsetzung desselben zieht den Stift d von dem mit 60 Zähnen versehenen Rade über einen Zahn zurück. Wird die Kette geöffnet, so zieht die Feder f den Anker zurück und der Stift d stößt diesen Zahn fort, wodurch das Rad und zugleich der an seiner Axe befestigte Zeiger z fortgerückt wird. Der Haken m dient zur Hemmung und gestattet die Bewegung des Rades nur in dem rechten Sinne.

Zur Bestimmung sehr kleiner Zeitabschnitte, sowie sehr großer Geschwindigkeiten hat Wheatstone ein Instrument, das elektromagnetische Chronoskop, angegeben, welches von Hipp (Reutlingen) verbessert worden ist. Es besteht aus einem durch ein Gewicht in Bewegung gesetzten Uhrwerke mit zwei Zifferblättern und Zeigern, von denen der eine $1/_{10}$, der andere den hundertsten Theil davon, also $1/_{1000}$ Sekunde angibt. Zur Hemmung dient ein gezahntes Rädchen und eine Metallfeder, welche in der Sekunde 1000 Schwingungen macht, was man aus dem durch sie hervorgebrachten Tone beurtheilt. Hinter dem Uhrwerke ist ein kleiner Elektromagnet, dessen Anker bei Schließung der Kette die Feder vom Rädchen abzieht, so daß der Zeiger steht, das Uhrwerk selbst aber seinen ungestörten Gang behält. Wird dagegen der Strom unterbrochen, so greift die Feder wieder in das Rädchen ein, der Zeiger geht und auch das Uhrwerk hat seinen Gang behalten, was durch mehre Minuten geschieht, ehe man nöthig hat, das Gewicht aufsneue aufzuziehen. Es ist also klar, daß man die während der Unterbrechung der Leitung verflossene Zeit mit ziemlicher Genauigkeit bis auf $1/_{1000}$, aber mindestens bis auf $1/_{500}$ Sekunde ablesen kann. Ehe man einen Versuch anstellt, muß man so lange warten, bis die Feder anhaltend den zu 1000 Schwingungen gehörigen Ton vernehmen läßt, bis also der Ruhezustand des Uhrwerkes überwunden und ein beharrlich gleichmäßiger Bewegungszustand eingetreten ist.

Man kann mit einem solchen Chromoskope viel genauer, als mit der Fallmaschine (Bd. I. S. 338) die Zeit bestimmen, welche ein Körper braucht, um durch eine bestimmte Höhe zu fallen. Es gehört dazu noch eine ganz einfache Fallvorrichtung, welche aus einem lothrechten Maßstabe besteht, welcher oben einen verschiebbaren Galgen hat; an diesem befinden sich unten zwei Metallstücke c und e, zwischen denen eine Metallkugel an einem fest geklemmten Faden so hängt, daß sie die Metallstücke berührt. Unten befindet sich eine kleine hölzerne Brücke, durch welche, wenn die Kugel auf sie fällt, zwei Metallplättchen u und v miteinander in Berührung kommen. Von den Poldrähten a und b einer Zinkplatinkette geht der eine a zuerst nach dem Elektromagneten

des Chromoskops, dann vertheilt er sich in zwei Aeste m und n, von denen der eine m nach dem Metallstücke c, der andere nach dem Metallplättchen u geht; der andere Poldraht b verzweigt sich ebenfalls und zwar geht der eine Zweig r nach e und der andere s nach v. Wie lange die Kugel oben festgehalten wird, geht die elektrische Verbindung durch a, m, c, die Kugel, e, r und b, die Kette ist geschlossen und die Zeiger des Chromoskopes stehen; läßt man durch einen Federdruck die Kugel fallen, so ist die Leitung unterbrochen und die Zeiger bewegen sich; sowie die Kugel auf die Brücke fällt, ist die Leitung wieder hergestellt, denn sie geht von a durch n, u, v, s und b und die Zeiger bleiben stehen. Auf diese Weise ist die Zeit für eine bestimmte Fallhöhe sehr genau bestimmt.

Es lassen sich durch das Chromoskop auch große Geschwindigkeiten, z. B. die Geschwindigkeit einer abgeschossenen Kugel bestimmen; denn weiß man die Zeit, welche vergeht von dem Augenblicke, in welchem die Kugel das Rohr verläßt, bis zu dem, in welchem sie ein Ziel von bekannter Entfernung trifft, so läßt sich nach Bd. I. S. 43 die Geschwindigkeit leicht berechnen. Man bringt an die Mündung des Rohres, aus welchem geschossen wird, einen Holzring an, über welchem diametral ein feiner Metallfaden gespannt ist; am Ziele wird eine ähnliche, aber stärkere Brücke aufgestellt mit zwei Metallplättchen, welche zur Berührung kommen, wenn die Kugel das Ziel trifft. Sowohl die Enden des feinen Drahtes x, als auch die Metallplättchen stehen wie vorhin mit den Zweigen der Poldrähte a und b in leitender Verbindung. Vor dem Abschießen ist die ununterbrochene Leitung vorhanden; sowie die Kugel den Lauf verläßt, zerreißt sie den Faden und die Leitung ist unterbrochen; wenn sie das Ziel trifft, stellt sie die Leitung wieder her. Es sind also die vorigen Bedingungen für die Bestimmung der Zeit gegeben, während welcher die Kugel die bestimmte Bahn durchlauft. — Diese Bahn kann auch der bloße Lauf der Feuerwaffe sein.

f) Die bei weitem folgenreichste Anwendung der Elektrizität und namentlich des Elektromagnetismus enthält die Telegraphie. Nicht nur oberhalb, sondern auch unterhalb des Erdbodens und in den Tiefen der Meere durchfliegt gegenwärtig der menschliche Gedanke mit Blitzesschnelle den Metalldraht und wird in naher Zukunft den ganzen Erdball umkreisen.

Die Befriedigung des Bedürfnisses, durch verabredete Zeichen auf große Entfernungen sich zu verständigen, schreibt sich schon aus dem fernen Alterthume, aber der Erfolg der dazu angewendeten Mittel war theils unvollkommen, theils von Hindernissen abhängig, deren Beseitigung nicht in dem menschlichen Willen lag. Am einfachsten sind die Feuersignale, welche aber fast nur in der Nacht brauchbar sind, nur nach Verabredung einen einzelnen Gedanken ausdrücken, z. B. das Zeichen zum Angriffe für eine Schlacht geben und nicht auf sehr große Entfernungen

reichen. Weit vollkommener waren die sog. optischen Telegraphen, bei denen man durch die Stellung dreier Balken, eines Hauptbalkens und zweier Seitenflügel, welche in ihrer Mitte an den Enden des ersten auch um eine Axe beweglichen Balkens angebracht waren, über 200 verschiedene Zeichen angeben konnte; denn der Hauptbalken läßt 4 Stellungen zu, welche mit den $7 . 9 = 63$ Stellungen der Flügel unter sieben verschiedenen von 45 zu 45 Graden wachsenden Winkeln verbunden werden können. Zur Beobachtung dienten Fernröhre, um die auf hohen Punkten angebrachten Signale möglichst weit zu sehen. Nebel und nächtliches Dunkel unterbrechen aber die Mittheilungen. In der Nacht hat man auch mit Laternen signalisirt.

Andere Mittel, sich auf große Entfernungen Anderen verständlich zu machen, z. B. durch Röhren, hat man nicht zur Telegraphie gerechnet und auch im Großen nicht in Anwendung gebracht, obwohl Versuche gezeigt haben, daß die menschliche Stimme durch eine Röhrenleitung von 400 Toisen Länge ungeschwächt fortgepflanzt wird.

Aber noch ehe die neuere Physik die Grundlage für das jetzige Telegraphiren auffand, kam man in Frankreich schon im 17ten Jahrhunderte auf den Gedanken, den Magnetismus zur Verständigung auf die Entfernung zu verwenden. Ich habe die erste Spur auf diese Weise zu telegraphiren in einem Büchelchen, welches in vierter Auflage zu Paris im Jahre 1672 unter dem Titel: „Récréation mathématique“ erschienen ist, aufgefunden. Der ungenannte Verfasser sagt in wortgetreuer Ueberseßung:

„Wer möchte glauben, wenn er es nicht mit eigenen Augen sähe, daß eine Stahlnadel, welche einmal einen Magneten berührt hat, hernach nicht einmal, nicht blos ein Jahr, sondern ganze Jahrhunderte und in alle Ewigkeit ihre beiden Enden wendet, das eine gegen Süden, das andere gegen Norden, wenn man sie auch bewegt und fortgedreht hat, so viel man will. Wer hat jemals geglaubt, daß ein roher, schwarzer, schlecht geformter Stein, indem er einen eisernen Ring berührt, diesen hängen läßt in der Luft, dieser einen zweiten, der zweite einen dritten u. s. w. 10, 12 oder mehre gemäß der Stärke des Magneten, indem sie eine Kette machen ohne Band und Löthung, ohne ein anderes Zwischenmittel, als die eine, in ihrer Grundursache sehr verborgene, in ihren Erfolgen sehr klare Kraft, welche von dem ersten zum zweiten, dritten u. s. w. unmerklich wandert und fließt. Ist das nicht ein Wunder zu sehen, daß eine einmal geriebene Nadel andere Nadeln richtet, ebenso einen Nagel, eine Messerspitze oder einen anderen Gegenstand von Eisen? Ist es nicht ein Vergnügen, Feilspähne, Nadeln, Nägel auf einem Tische oder einem Blatt Papier sich drehen und bewegen zu sehen, Schlag auf Schlag, wie man unterhalb den Magneten dreht und bewegt? Wer möchte nicht erfreut verweilen, wenn er die Bewegung des Eisens sieht, wenn er eine Hand von Eisen auf einem Brette schreiben

sieht und eine Unzahl ähnlicher Erfindungen, ohne den Magneten wahrzunehmen, welcher diese Bewegungen unter einem solchen Brette verursacht hat?

„Was gibt es auf der Welt, was mehr geeignet wäre, ein tiefes Erstaunen in unsere Seele zu werfen, als wenn man eine große Eisenmasse in der Luft aufgehängt sieht in der Mitte eines Gebäudes, ohne daß irgend ein Gegenstand von der Welt sie berührt, außer die Luft? Und nichtsdestoweniger haben es uns die Geschichtsforscher aufbewahrt, daß durch den Einfluß eines in der Wölbung angebrachten Magneten oder in den Scheidewänden von der Moschee der Türken in Mekka der Sarg des berühmten Mahomet in der Luft hängen bleibt. Die Erfindung ist nicht einmal neu, weil Plinius in seiner Naturgeschichte Buch 34, Kap. 14, beschreibt, daß der Baumeister Dinokrates es unternommen hatte, den Tempel der Arsinoe in Alexandrien mit einem Magnetsteine zu wölben, um daselbst durch eine ähnliche Täuschung die Grabstätte dieser Göttin in der Luft aufgehängt erscheinen zu lassen.

„Ich würde die Gränzen meines Unternehmens überschreiten, wenn ich alle die Erfahrungen anführen wollte, welche mit diesem Steine gemacht worden sind und ich würde mich dem Gelächter der Welt aussetzen, wenn ich mich rühmen wollte, hierbei einen anderen Grund anführen zu können, als die natürliche Sympathie. Woher kommt es, daß der ganze Magnet nicht geeignet ist, die Nadeln zu bestreichen, sondern allein in den zwei Polen oder Theilen, die man erkennt, wenn man den Stein an einem Faden in ruhiger Luft aufhängt oder wenn man ihn mittelst Korkholzes oder eines kleinen Brettes von leichtem Holze wohl auf Wasser legt; denn die Theile, welche nach Norden und Süden gewendet sind, zeigen an, mit welcher Seite man die Nadel streichen muß; woher kommt es, daß die Nadeln abweichen und nicht den wahren Norden zeigen, wenn man sich von den Kanarischen Inseln entfernt, dergestalt, daß sie in dieser Gegend sich davon ungefähr in einem Zwischenraume von acht Graden abwenden.

„Wenn die Nadeln mit einem doppelten Zapfen gemacht und zwischen zwei Fäden angebracht sind, so zeigen sie die Höhe des Poles (?), indem sie ebensoviele Grade ausweichen, als der Pol über dem Horizonte ist.

„Warum machen Feuer und Wasser, daß der Magnet seine Kraft verliert? Das sage, wer es vermag; ich bekenne darin meine Unwissenheit.

„Manche haben sagen wollen, daß durch einen Magneten oder durch einen anderen ähnlichen Stein abwesende Personen mit einander sprechen können, z. B. indem Klaudius in Paris und Johann in Rom ist, wenn der Eine wie der Andere eine an einem Steine gestrichene Nadel hätte, deren Eigenschaft eine solche wäre, daß nach dem Maße wie eine zu Paris sich bewegte, die andere ganz ebenso in Rom sich

drehte. Es könnte sich leicht gestalten, daß Klaudius und Johann ein Jeder ein Alphabet hätten, und daß sie übereingekommen wären, von fern mit einander alle Tage um 6 Uhr abends zu sprechen, nachdem die Nadel 3 ½ Umläufe gemacht, zum Zeichen, daß es Klaudius ist und nicht ein Anderer, welcher zu Johann sprechen will. Wenn dann Klaudius ihm sagen will: Le Roi est à Paris, müßte er seine Nadel bewegen und stehen lassen auf L, dann auf E, dann auf R, O, I und so fort auf den anderen (welche alle auf dem Umfange einer Kreisscheibe gezeichnet sind). Da nun aber in derselben Zeit die Nadel von Johann über denselben Buchstaben (seiner Scheibe) und überall stimmte, so könnte er leicht schreiben und aufmerken auf das, was der Andere ihm anzeigen will.

„Die Erfindung ist schön, aber ich halte nicht dafür, daß sich auf der Welt ein Magnet findet, welcher eine solche Eigenschaft besitzt; überdies ist es nicht rathsam — andererseits würde es sehr häufige und versteckte Verräthereien geben."

Daß der Verfasser den Neigungswinkel der Magnetnadel gleich der Polhöhe setzt, ist nicht allgemein richtig und darf bei dem Mangel an angemessenen Instrumenten vor fast 200 Jahren wohl entschuldigt werden. Darin hat er allerdings recht, wenn er das Band zwischen den beiden so sehr weit entfernter Magneten in dem Magneteisensteine, durch welchen man jene erhalten hat, nicht erkennt. Davon hatte man keine Ahnung, daß ein Kupferdraht, welcher sich gegen einen Magneten scheinbar ganz theilnahmlos zeigt, das Bindemittel zwischen zwei auch noch so entfernten Magnetnadeln in der Art sein werde, daß, wenn die Stellung der einen willkürlich geändert wird, die andere unwillkürlich dieser Aenderung folgen muß. Doch darüber können wir das Genauere erst im Folgenden (bei der Magnetoelektrizität) anführen, indem wir jetzt die elektromagnetische Telegraphie esprechen.

Schon Franklin wendete im Jahre 1749 die Reibungselektrizität zur Wirkung auf die Entfernung an, indem er vor den Thoren Philadelphias an den beiden Ufern des Flusses Schuylkill mittelst der Entladung einer Verstärkungsflasche den Weingeist in zwei Schalen gleichzeitig anzündete und dabei auch den Beweis führte, daß nur ein Leitungsdraht über dem Flusse oder der Erde nothwendig sei, indem die andere Leitung durch das Wasser des Flusses und die feuchte Erde ersetzt wird. — Mehr geeignet, auf große Entfernungen durch die Reibungselektrizität sich einem Anderen verständlich zu machen, ist der im Jahre 1774 von Lasage gemachte Versuch. Er leitete nach jedem Buchstaben eines aufgestellten Alphabetes einen isolirten Leitungsdraht mit einem Pendelelektroskope am Ende; die Anfänge wurden je nach dem Bedürfnisse nacheinander mit dem Konduktor einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine verbunden; das Auseinandergehen der Pendel zeigte den gemeinten Buchstaben an. — Im Jahre 1811 benutzte Sömmering

die Zersetzung des Wassers zur Bezeichnung der Buchstaben, indem er 24 Doppeldrähte nach dem Bedürfnisse mit einer galvanischen Kette in Verbindung setzte.

Alle diese unvollkommenen Versuche wurden seit der im Jahre 1820 von Oersted gemachten Entdeckung der magnetisirenden Wirkung der dynamischen Elektrizität durch die nun rasch aufeinander folgenden Resultate überflügelt. Wir übergehen aber den weiteren Gang der geschichtlichen Entwickelung und führen das Wesentlichste zur Sache selbst an.

Der nächste Punkt betrifft die telegraphische Leitung zwischen den beiden Stationen, welche miteinander in Verbindung treten sollen. Schon Franklin und später Steinheil haben den praktischen Beweis geführt, daß eine doppelte Drahtleitung, nämlich hin und zurück, nicht nothwendig sei, sodann daß eine solche Leitung genüge, daß die andere ersetzt werde, wenn man in den feuchten Erdboden eine Kupferplatte auf jeder Station eingrübe und den kurzen Poldraht der ersten Station mit der hier eingegrabenen Platte, das Ende des anderen und langen mit der Platte auf der zweiten Station verbände, nachdem hier der betreffende Apparat eingeschaltet worden. Durch diese Einrichtung wird nicht nur an Leitungsdraht fast die Hälfte erspart, sondern das Telegraphiren geschieht sogar noch sicherer oder man bedarf zur Erreichung eines bestimmten Erfolges eines weniger kräftigen elektrischen Apparates, indem der Leitungswiderstand fast um die Hälfte vermindert wird. Der Erdboden wirkt hier nicht als ein begränzter Leiter, welcher etwa der Elektrizität den Rückweg gestattet, sondern er hebt die entgegengesetzte Spannung der Platten an den beiden Poldrähten ununterbrochen auf, so daß die Kette fortwährend in Thätigkeit und die Elektrizität in Bewegung bleibt, was nicht der Fall ist, wenn der Leitungsdraht einer Kette in der Luft unterbrochen ist, denn in ihr erfährt die elektrische einen bestimmten Grad erreichende Spannung der beiden einzelnen Poldrähte nur eine sehr geringe allmählige Abgleichung und in der Kette selbst kann daher nur eine unbedeutende Thätigkeit eintreten, um diesen Verlust zu ersetzen. Da also in dem Erdboden eine Zurückkehrung der elektrischen Bewegung zwischen zwei Stationen nicht stattfindet, so kann auch davon nicht die Rede sein, daß bei einer größeren Anzahl von telegraphischen Verbindungen zwischen zwei Orten eine Störung des Verkehrs stattfindet.

Zu den Luftleitungen benutzt man starken Eisendraht, welchen 12 bis 15 Fuß hohe Holzstangen mit Porzellanträgern zur besseren Isolirung stützen. Das Holz sucht man, so weit es in den Erdboden kommt, durch Verkohlung seiner Oberfläche oder durch Tränkung mit Oel oder Firniß gegen Fäulniß zu schützen. Auf die Luftleitungen sind die elektrischen Zustände der Atmosphäre nicht ohne Einfluß: bei Gewittern und namentlich bei jedem Blitze versagen die nach verschiedenen

Richtungen und bei Nordlichtern die von Norden nach Süden gehenden Drähte oft ganz ihren Dienst, weil sie durch Vertheilung so stark einseitig elektrisch werden, daß die von der galvanischen Kette ausgehende Bewegung den Durchgang sich nicht erzwingen kann.

Die Erdleitungen sind diesen Einflüssen weniger ausgesetzt, besonders wenn sie ziemlich tief liegen. Zur Isolirung umgibt man die Drähte zuerst mit Baumwolle und mit einem 1 bis 2 Linien dicken Ueberzuge von Guttapercha. Zum Schutze gegen äußere Verletzungen führt man sie in eisernen oder bleiernen Röhren fort oder umgibt sie mit Eisendraht. Die Menge der nebeneinander liegenden Drähte darf nicht sehr groß sein.



(Fig. 413.)

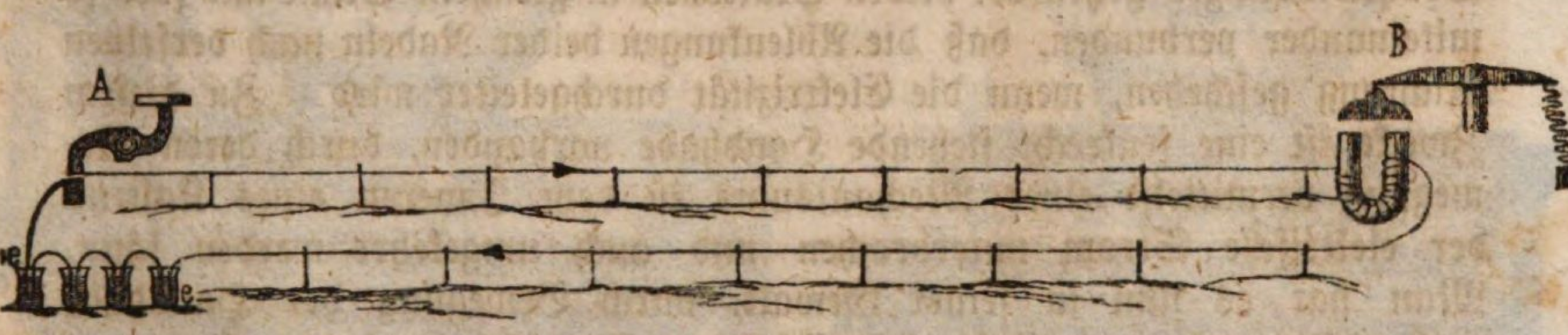
Zu den submarinen oder den Wasserleitungen verwendet man einfachen Kupferdraht von 1 bis 2 Millimeter Durchmesser oder, um sicherer zu gehen, Kupferdrahtseile aus 3 bis 7 einzelnen ganz dünnen Drähten, umgibt dieselben mit einer 3 bis 4 Millimeter dicken Schicht von Guttapercha und schützt das Ganze noch durch starke spiralförmig umwundene Eisendrähte. So erhält man, wie Fig. 413 zeigt, Kabel, welche ungeachtet ihrer großen Steife in kurzen Stücken sich bei größerer Länge doch auf Walzen winden lassen, um sie dann ins Meer abrollen zu lassen, wo sie sich auf den unebenen Meeresgrund legen, wenn das Schiff, aus welchem die Legung geschieht, nicht zu schnell fährt. Bei einem schnell abfallenden, tiefen, felsigen Grunde und schnellen Fahren kann ein auch starkes Kabel reißen. Die erste Figur stellt in natürlicher Größe ein Stück des zwischen Dover und Calais und die zweite ein Stück von einem zwischen England und Irland liegenden Kabels dar. Ersteres wiegt 181220, letzteres 71307 Kilogramme. Das Telegraphiren durch Wasserleitungen geschieht langsamer, weil die Elektrizität des Kupferdrahtes in der Eisenhülle und dem zunächst liegenden Wasser eine Vertheilung hervorruft, bei welcher die durch das Guttapercha isolirten Gegensätze einander zu binden suchen, wodurch eine theilweise Hemmung der elektrischen Bewegung im Kupferdrahte eintritt. Es ist aber auch nicht unwahrscheinlich, daß der bei großen Meerestiefen sehr bedeutende Wasserdruck auf das Kabel die Fortpflanzung der elektrischen Bewegung erschwert.

Das nächste Erforderniß zum Telegraphiren ist ein den Verhältnissen angemessener Elektrizitätserreger. Wesentliche Bedingung dafür ist eine gleichmäßig starke Entwickelung auf eine möglichst lange Zeit, ohne daß man nöthig hat, an dem Apparate eine Aenderung oder Reinigung vorzunehmen. Die bunsenschen Ketten haben zwar den Vorzug einer kräftigen Wirkung, belästigen aber durch die aus der Salpetersäure sich entwickelnden salpetrigen Dämpfe.

In Frankreich wendet man daniellsche Ketten mit einiger Abänderung an, indem man in die Thonzelle mit dem Kupferbleche eine angemessene Menge von Kupfervitriolkrystallen und in das Gefäß mit dem Zinkzylinder blos Wasser thut. Nach kurzer Zeit beginnt durch Diffusion die Zersetzung und mit ihr die elektrische Thätigkeit.

In England sind Sandbatterien in der Form von Trogapparaten gebräuchlich. In jede Zelle des Holztroges kommt eine Platte von amalgamirtem Zink und eine von Kupfer, welche mit Sand umgeben sind, den man mit einer schwachen Auflösung von Salmiak oder sehr verdünnter Schwefelsäure fortwährend feucht erhält. Man hat zwar eine ziemlich große Anzahl von Elementen nothwendig, um einen hinreichend starken Erfolg zu erzielen, braucht aber die Zinkplatten etwa nur alle 6 bis 8 Monate aufsneue zu amalgamiren und den Sand auszuwaschen.

Für lange Linien mit einem großen Widerstande ist eine Abänderung der bunsenschen Kette mit einem äußeren Zink- und einem inneren Kohlenzylinder sehr geeignet. Man nimmt schwefelsaures Quecksilberoxydul, reibt es mit Wasser zu einem dünnen Brei, läßt diesen solange stehen, bis sich eine teigige Masse abgelagert hat; mit dieser umgibt man in der Thonzelle den Kohlenzylinder, die Flüssigkeit aber gießt man in das äußere Gefäß und ergänzt das Fehlende mit reinem Wasser.



(Fig. 414.)

Das Grundprinzip beim Telegraphiren mittelst des Elektromagnetismus besteht darin, daß sich auf der einen Station A (Fig. 414) ein Elektromotor und eine Vorrichtung zur Unterbrechung der Leitung, auf der anderen B ein Elektromagnet befindet, dessen Anker von den Polfüßen durch eine elastische Spiralfeder bis zu einer gewissen Entfernung abgezogen wird. Die leitende Verbindung zwischen A und B geht von

dem einen Pole der Kette in A nach B, bildet dort die Spirale um den Eisenkern und geht von da nach A zurück zu dem einen Ende eines durch einen Drücker beweglichen Hebels des Hammers; von dem anderen Pole der Kette geht nur ein kurzes Drahtstück nach dem unter dem Hammer befindlichen Ambos. Berühren Hammer und Ambos einander, so ist der Kreislauf geschlossen, der Eisenkern in B wird zu einem Magneten und dieser zieht den Anker daselbst an; entfernt sich der Hammer vom Ambos, so ist die Leitung unterbrochen und die Feder in B kann den Anker vom unmagnetischen Eisen abziehen. Auch in A ist eine Feder, welche aber den Hammer an den Ambos drückt, so daß ein Druck mit dem Finger auf das Ende des Hammers eine Trennung hervorbringt.

Die zeichengebenden Apparate selbst sind ziemlich verschiedenartig. Wir können unter den elektromagnetischen vier Methoden unterscheiden, sich verständlich zu machen, nämlich: a) durch Nadeltelegraphen, b) Zeiger- oder Buchstabentelegraphen, c) Druck- oder Schreibtelegraphen, d) Kopiertelegraphen, wozu auch der sogen. Pantelegraph von Caselli gehört.

a) Die Nadeltelegraphen (Wheatstone und Cooke) sind die einfachsten und bedürfen auch nur einer sehr schwachen Elektrizität, haben aber den großen Nachtheil, daß die empfangenen Zeichen nur durch das Auge aufgenommen und nicht auf eine bleibende Weise festgehalten werden, so daß eine Nachricht gradezu wiederholt werden muß, wenn sie nicht gehörig verstanden worden ist.

Auf jeder der beiden Stationen, auf der zeichengebenden und zeichenempfangenden, sind senkrecht aufgestellte Galvanometer mit astatischen Doppelnadeln, deren Axe also horizontal liegt. Die vordere und außerhalb eines Gehäuses befindliche, hat ihren Nordpol oben, die innere unten, was durch eine kleine Belastung der letzteren erreicht wird. Die Drahtwindungen gehen bei beiden Stationen in gleichem Sinne und sind so miteinander verbunden, daß die Ablenkungen beider Nadeln nach derselben Richtung geschehen, wenn die Elektrizität durchgeleitet wird. Zu diesem Zwecke ist eine senkrecht stehende Handhabe vorhanden, durch deren Bewegung vermittelst eines Mechanismus in dem Inneren eines Kastens der elektrische Strom unterbrochen und auch umgekehrt werden kann. Man hat es nun in seiner Gewalt, durch Bewegung der Handhabe nach rechts oder nach links, den sichtbaren Nordpol der beiden Galvanometer in ganz entsprechender Weise nach rechts oder nach links abzulenken. Damit dieses nicht allzuweit, höchstens etwa 25 Grade geschehe, sind zwei Elfenbeinstifte angebracht, an welche die Nadel anschlägt. Wären zwei verschieden gestimmte Glöckchen angebracht, so würde man aus der Tonhöhe entnehmen können, an welches Glöckchen die Nadel geschlagen hat.

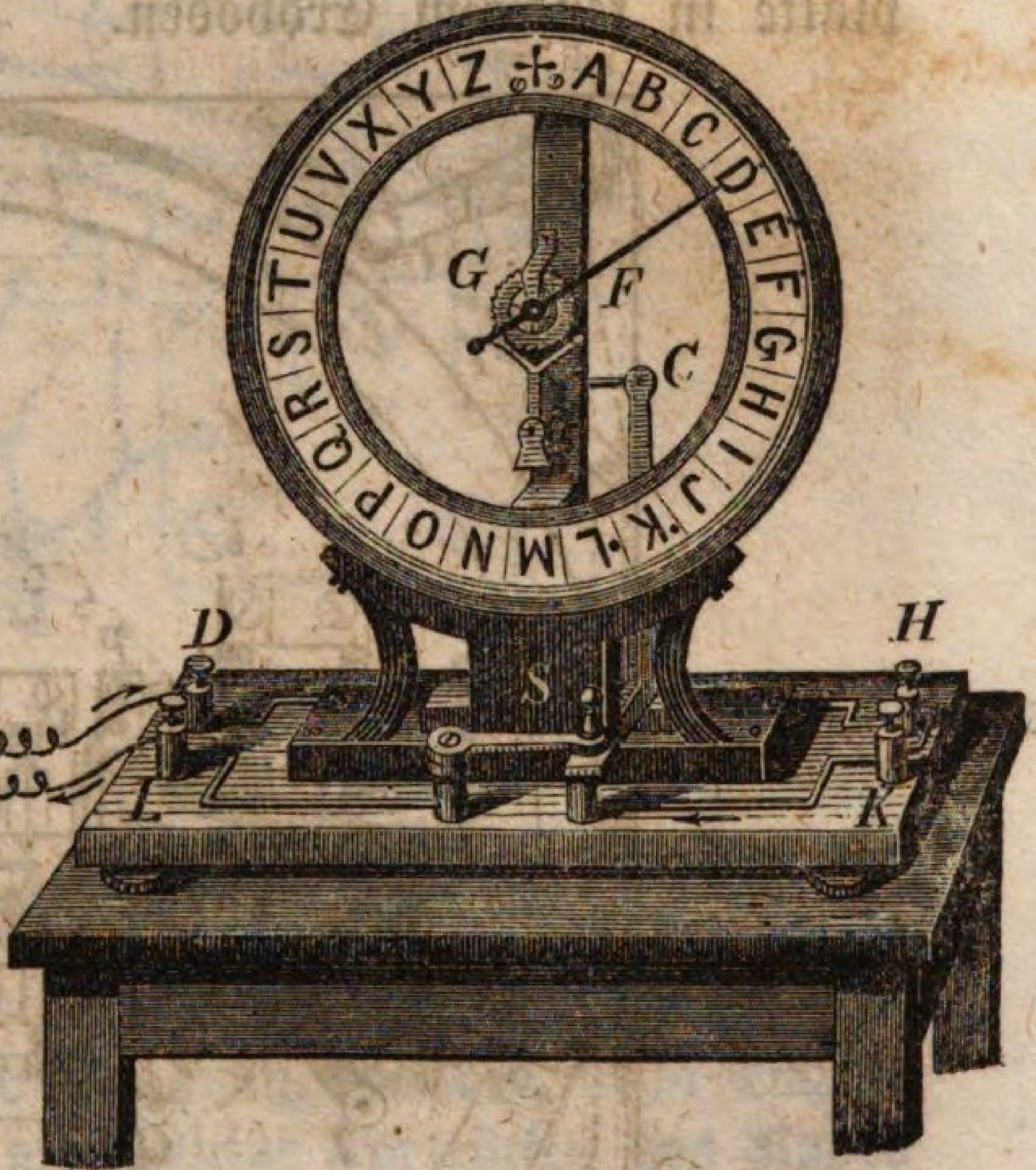
Schon mit einer Nadel kann man durch 1, 2, 3 bis 4maliges Anschlagen des Nordpoles der Nadel entweder nur nach links oder nur

nach rechts, oder theils nach rechts, theils nach links alle Buchstaben des Alphabetes und nach einem gegebenen Zeichen auch die Ziffern angeben; hat man zwei Nadeln, jede in einer besonderen Spirale und zu einer besonderen Drahtleitung zwischen den Stationen gehörig, so kann man schneller telegraphiren, weil eine Nadel höchstens nur drei Schläge zu machen braucht. Zu jeder Nadel gehört natürlich eine besondere Handhabe, welche man abwechselnd einzeln oder gleichzeitig in Bewegung setzt. Man kann auf allen Zwischenstationen entweder gleichzeitig dieselben Zeichen empfangen oder auch die Galvanometer derselben ausschalten, ohne die Hauptleitung zu unterbrechen. Man kann so höchstens 20 Worte in der Minute telegraphiren.

b) Eine andere Vorrichtung zum Telegraphiren sind die Zeiger- oder der Buchstabentelegraphen von Wheatstone. Sie haben den Vorzug vor den Nadeltelegraphen, daß sie das Auswendiglernen der Zeichen ersparen und somit weniger leicht eine Irrung zulassen, indem sie ohneweiteres die beabsichtigten Buchstaben unmittelbar anzeigen und daß sie selbst ohne alle Vorübung von Jedem leicht gehandhabt werden können; aber auch sie halten die hintereinander gegebenen Zeichen nicht fest, so daß dieselben sofort aufgezeichnet oder im Gedächtnisse festgehalten werden müssen.



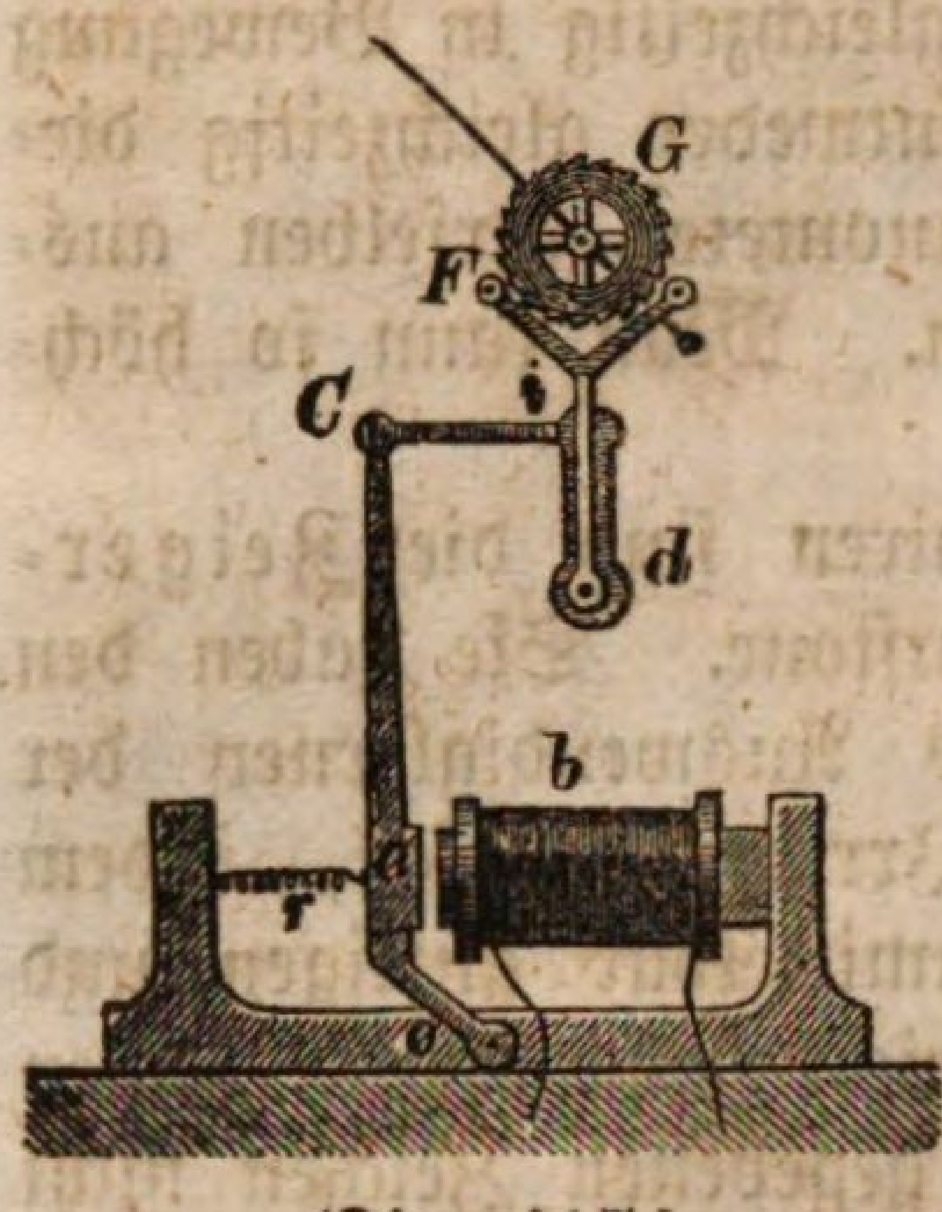
(Fig. 415.)



(Fig. 416.)

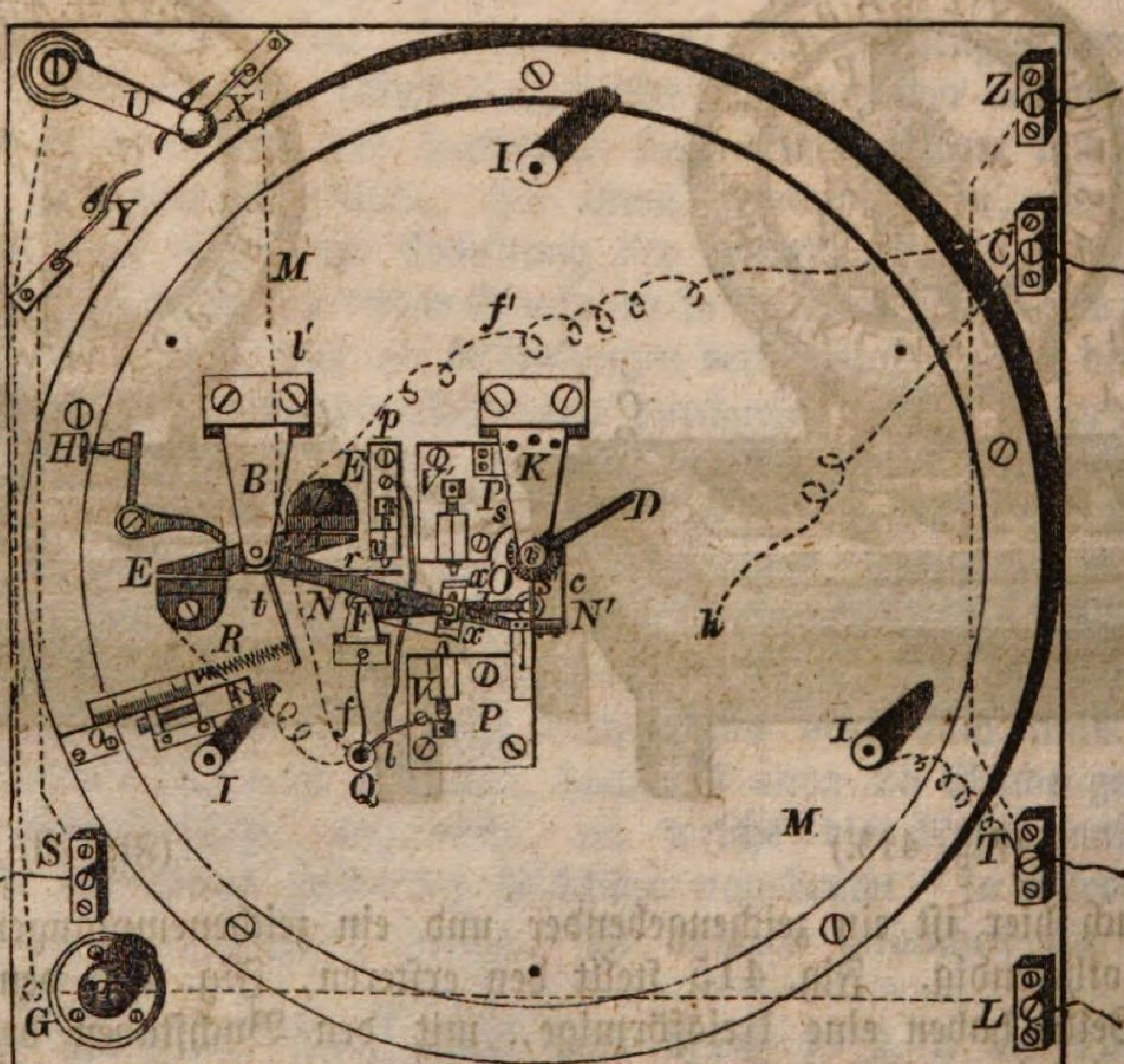
Auch hier ist ein zeichengebender und ein zeichenempfangender Apparat nothwendig. Fig. 415 stellt den ersteren, Fig. 416 den letzteren dar. Beide haben eine kreisförmige, mit den Buchstaben des Alphabetes und einer Ruhestelle bezeichnete Scheibe, um deren Mitte ein Zeiger drehbar ist. Die Einrichtung muß nun so getroffen werden,

daß der Zeiger der zweiten Station, wenn man auf der ersten den Zeiger mit der Hand auf einen bestimmten Buchstaben stellt, mittelst der Einwirkung eines Elektromagneten auf denselben Buchstaben rückt und so lange darauf stehen bleibt, als er hier stehen gelassen wird. Diese Zeit muß eine möglichst kurze sein, um so schnell als möglich zu telegraphiren.



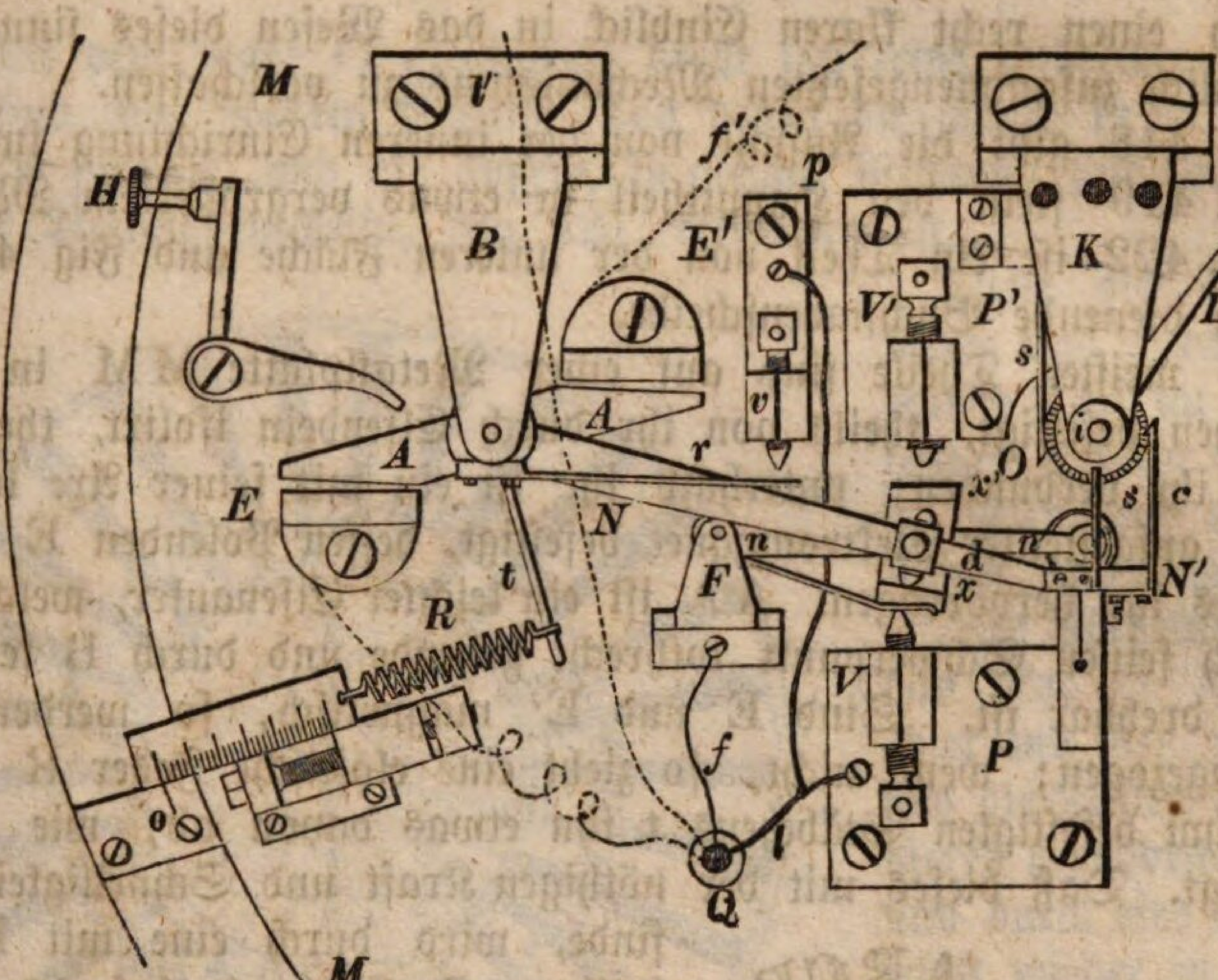
(Fig. 417.)

Die elektrische Bewegung geht in der zeichengebenden Station von einer durch das bunsensche Element Q vertretenen Batterie aus, tritt von dem Poldrahte A durch die Messingfeder N in das gezahnte Metallrad R, von da durch die Feder M nach der Klemmschraube O, von hier aus durch den Leitungsdraht OD nach der zeichenempfangenden Station, wo er zunächst den in Fig. 417 besonders abgebildeten Elektromagneten b erzeugt, dann nach H, K, S zur Klemmschraube L und von hier aus, wenn nicht eine Erdleitung stattfindet, durch einen zweiten Leitungsdraht zurück nach der ersten Station zur Klemmschraube J und zu dem zweiten Poldrahte B geht. Bei der Erdleitung gehen die Drähte von L und von B aus zu einer Kupferplatte in feuchtem Erdboden.



(Fig. 418.)

Die Buchstaben folgen auf beiden Scheiben in derselben Ordnung und zwischen Anfang und Ende ist ein Haltepunkt. In der Mitte hat jede Scheibe ein Rad mit einem Zahne mehr als Buchstaben sind, das auf der Ausgangsstation trägt in seiner Mitte noch einen daran befestigten Zeiger S mit einem kleinen Griffe, während der Zeiger des zweiten Rades ohne Griff ist. Die Feder N bleibt während der Drehung des Rades R mittelst seines Zeigers fortwährend in leitender Berührung mit ihm, die Feder M aber trägt an ihrem oberen Ende einen Zahn, welcher sie beim Uebergange über einen Zahn des Rades aus der leitenden Verbindung mit ihm bringt, aber sie wieder herstellt, wenn der Zahn in eine Vertiefung zu liegen kommt. Wird also der Zeiger P mit der Hand einmal herumgedreht, so wird die elektrische Verbindung zwischen beiden Stationen ebenso oft unterbrochen, als hergestellt.



(Fig. 419.)

Auf der Empfangsstation steht der auf der Rückseite des Apparates angebrachte, hier (Fig. 417) in entgegengesetzter Lage dargestellte Elektromagnet b mit einem Hebelsysteme in Verbindung, welches beim Schließen und Oeffnen der Verbindung das gleichzeitige Fortrücken des Rades G mit seinem Zeiger F besorgt. Dem hier links gezeichneten Ende des Eisenkernes steht ein um o drehbarer Anker a gegenüber, welcher durch eine Feder r etwas nach links weggezogen wird, wenn die Leitung unterbrochen, aber nach rechts geht, wenn sie hergestellt ist. Wird a angezogen, so geht die Stange Ci nach rechts und dreht den Hebel d auch nach rechts; wird a losgezogen, so geht der Hebel d nach links. Da

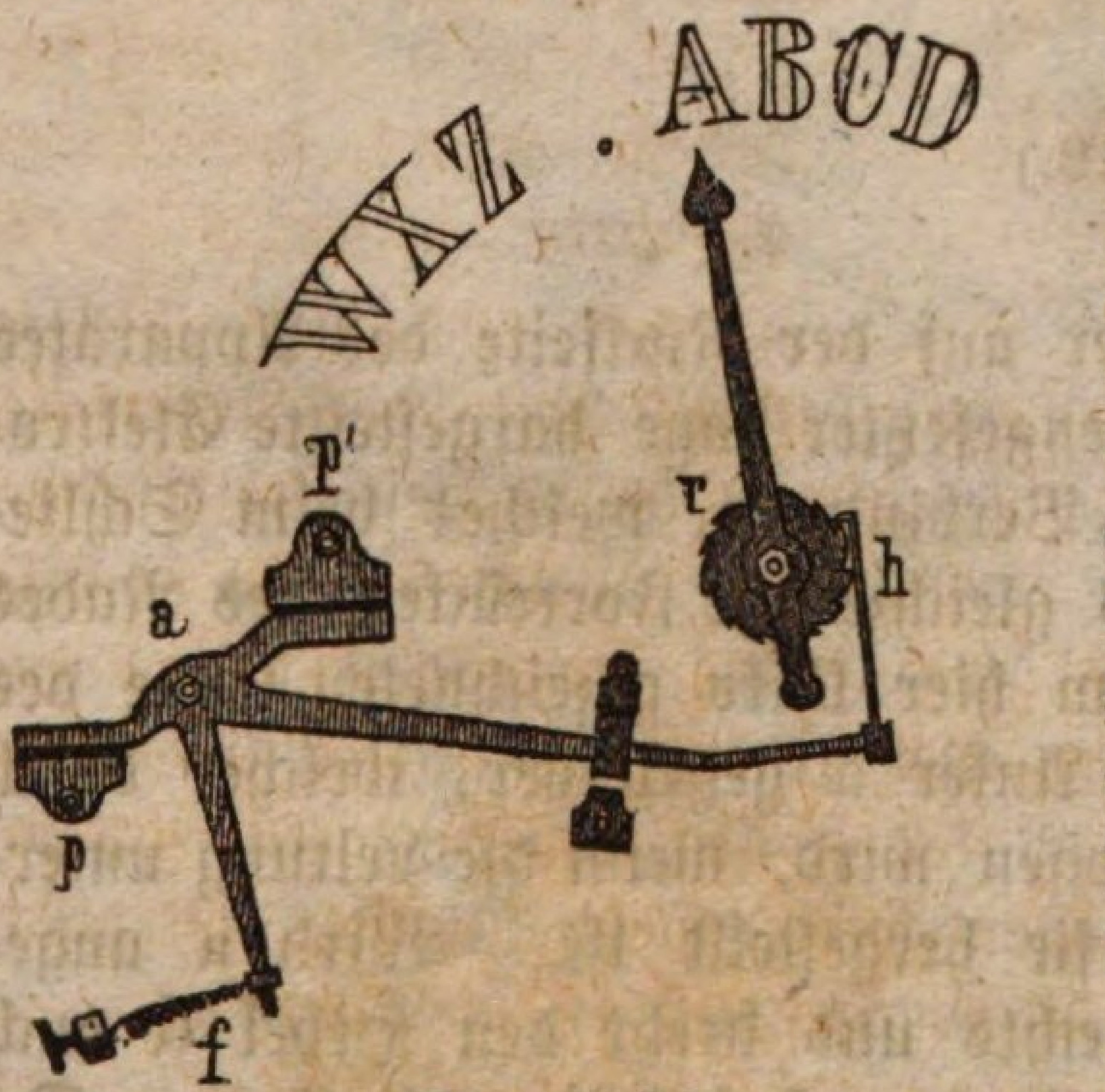
nun dieser Hebel eine Gabel mit zwei Armen trägt, deren Enden abwechselnd in die Zähne des Rades G eingreifen, wie der Anker bei einer Pendeluhr; so wird dieses von Zahn zu Zahn sprungweise genau in derselben Weise gedreht, wie es mit dem des Zeichengebers geschieht.

Bei manchen Telegraphen wird auf der Empfangsstation der Zeiger durch ein Uhrwerk bewegt und durch den Anker des Elektromagneten auf einem bestimmten Buchstaben festgehalten.

Es ist ersichtlich, daß man zwei Apparate der Art haben muß, wenn man rückwärts telegraphiren will. Deshalb war es ein glücklicher Gedanke von Siemens und Halske einen Apparat zu konstruiren, welcher zum Geben und Empfangen von Zeichen gleichzeitig dient. Derselbe ist in Preußen eingeführt und wir wollen nun das Wesentlichste davon anführen, obwohl es etwas schwierig ist, durch eine bloße Zeichnung sich einen recht klaren Einblick in das Wesen dieses sinnreichen, aber ziemlich zusammengesetzten Mechanismus zu verschaffen.

Fig. 418 gibt die Ansicht von der inneren Einrichtung im Ganzen, Fig. 419 stellt den Haupttheil in etwas vergrößertem Maßstabe dar, Fig. 422 ist ein Theil von der unteren Fläche und Fig. 421 die als Decke dienende Buchstabenscheibe.

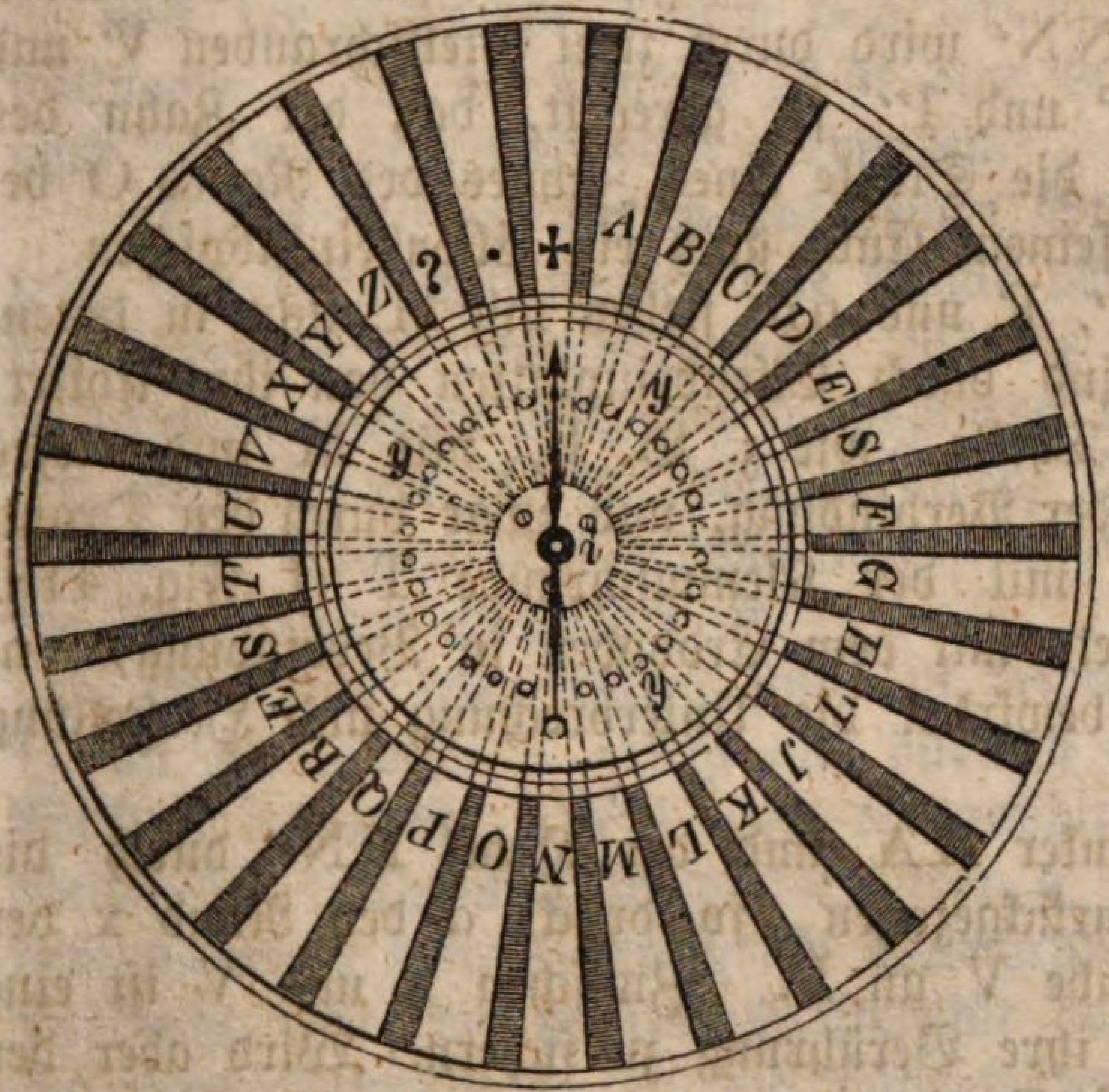
Die meisten Theile sind auf einer Metallplatte MM in einem Holzkästchen befestigt, theils von ihr durch Elfenbein isolirt, theils leitend mit ihr verbunden; unterhalb ihr ist ein mit seiner Axe lothrecht gegen sie aufgestellter Elektromagnet befestigt, dessen Polenden E und E' etwas aus ihr hervorragen. AA ist ein leichter Eisenanker, welcher um eine durch seinen Schwerpunkt lothrecht gehende und durch B festgehaltene Axe drehbar ist. Sind E und E' magnetisch, so werden seine Enden angezogen; wenn nicht, so zieht eine elastische Feder R mittelst des an ihm befestigten Stäbchens t ihn etwas davon ab, wie es die Figur zeigt. Daß dieses mit der nöthigen Kraft und Schnelligkeit stattfinde, wird durch eine mit R verbundene Stellschraube besorgt. — An der Mitte des Ankers ist noch ein Hebel NN' befestigt, welcher an seinem freien Ende ein Metallstäbchen c mit einem Haken trägt; letzterer greift seitwärts in die Zähne eines Rades O und zieht bei jedem Oeffnen der Kette je einen Zahn fort, so daß das Rad im Sinne der Zeiger einer Uhr gedreht wird; denn wird der Anker von den Polen angezogen, so schiebt sich der Haken, während das Rad O still steht, über



(Fig. 420.)

einen zurückliegenden Zahn fort, wird der Anker aber von der Feder zurückgezogen, so zieht der Haken einen Zahn vorwärts. Fig. 420 zeigt diesen Theil des Mechanismus abgesondert ganz deutlich: p und p' sind die Elektromagneten, welche den Anker gerade angezogen haben. Dem Stäbchen c entspricht an der gegenüberliegenden Seite des Rades ein anderes s, auch mit einem Zahne an seinem Ende. Beide wechseln während der hin- und hergehenden Bewegung des Ankers so ab, daß s, während c über den zurückliegenden Zahn hinschiebt, bei der Anziehung des Ankers einen Zahn des Rades festhält, ihn aber losläßt, wenn c den seinen vorwärts zieht, also wenn die Feder R den Anker abzieht. Zwischen den beiden Stäbchen c und s ist noch ein drittes s', welches in grader Richtung auf die Axe des Rades O hingeht, am Ende mit einem aufwärts gerichteten Haken versehen ist und wie eine Arretirung dafür sorgt, daß die Bewegung immer nur um einen Zahn erfolgen kann.

Mit dem Rade O gleichzeitig dreht sich seine lothrechte Axe i, an dieser sind zwei Nadeln befestigt, von denen die innere D in Fig. 418 und 419 sichtbar, und die äußere, in gleicher Richtung mit ihr liegende, auf der Buchstabenscheibe, Fig. 421, erkennbar ist.



(Fig. 421.)

Diese als Decke dienende und durch die drei Stifte JJJ an MM befestigte Scheibe besteht aus so vielen mit den Buchstaben und Zeichen versehenen Abtheilungen, als das Rad O Zähne hat (hier aus 30), welche sich wie die Tasten eines Klavieres herabdrücken lassen und durch eine Feder von selbst wieder in die Höhe gehen, wenn der Druck aufhört. Unterhalb der Tasten befinden sich in einer Kreisperipherie liegende senkrecht angebrachte Metallstifte, deren Lage durch yyy angedeutet ist. Wenn man, während das Rad O mit seinen beiden Zeigern sich dreht, irgend eine Taste herabdrückt, so verhindert der an ihr befindliche Stift die weitere Bewegung des unteren Zeigers D und somit des oberen und des ganzen Apparates; so wie man aber die Taste losläßt, kann die Drehung wieder fortgesetzt werden.

Wäre nun an jeder von zwei Stationen ein solcher Apparat, ginge

durch beide die Elektrizität und brächte sie an den beiden Elektromagneten fortwährend und gleichzeitig die Unterbrechung und die Herstellung der Leitung hervor; so würden die Zeiger während ihrer Bewegung in beiden gleichzeitig auf denselben Buchstaben sich befinden, wenn sie beim Beginne der Bewegungen auf dieselben gestellt worden wären, und wenn man auf der einen Station den Zeiger durch eine Taste mit einem bestimmten Buchstaben anhielte, so würde der Zeiger auf der anderen Station während der Zeit des Anhaltens auf demselben Buchstaben stehen bleiben, so daß auf diese Weise ein kurzer Halt auf den einzelnen Buchstaben eines Wortes nach der Reihenfolge genügt, um sich verständlich zu machen. Es ist dazu ein Stromwender, ein Stromunterbrecher und eine ziemlich zusammengesetzte Leitung erforderlich.

Der Hebel NN′ veranlaßt durch seine Bewegungen unter Mitwirkung der Feder R die Stromunterbrechungen. Das Metallstück F hält einen bei n drehbaren Metallstreifen nn′, dessen freies Ende auf einer Achatplatte hinschleift; gegen die Mitte dieses Streifens ist eine dünne Metallbrücke xx′ befestigt, deren beide Enden x und x′ rechtwinklig aufwärts gebogen sind. Der Hebel NN′ trägt über dieser Brücke ein kleines Metallstück d mit isolirenden Elfenbeinknöpfchen an den beiden Seiten, welche dem x und x′ zugewendet sind. Die Weite der Bewegung des Hebels NN′ wird durch zwei Stellschrauben V und V′ auf den Metallstücken P und P′ so geregelt, daß der Zahn des Stäbchens c sich gerade um die Stärke eines Zahnes des Rades O bewegen kann. V′ trägt an seinem Ende auch ein Elfenbeinknöpfchen.

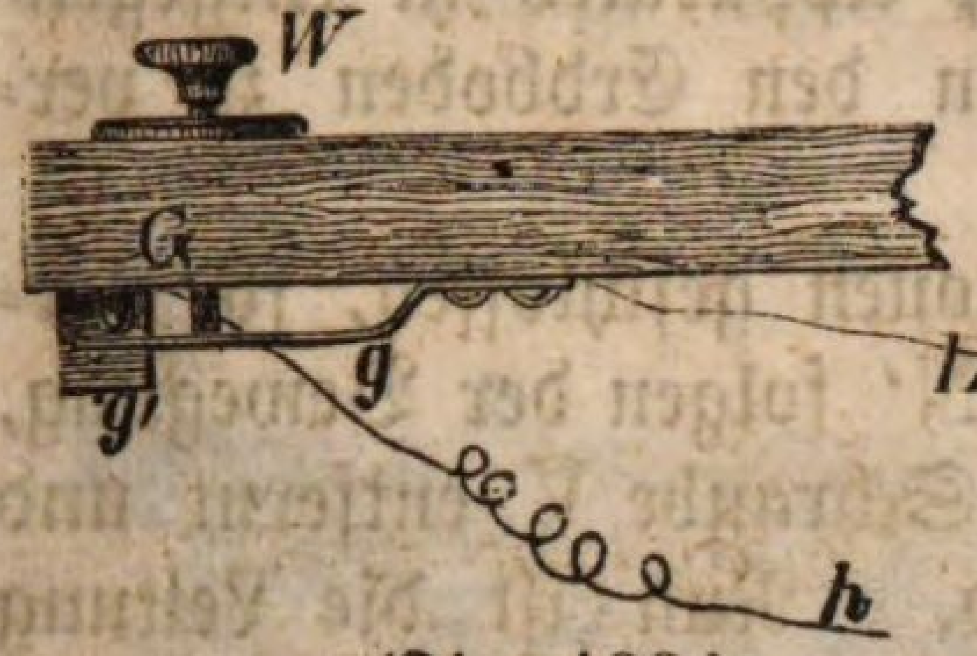
Die Metallstücke P, P′, F und nn′ stehen mit M nicht in leitender Verbindung, sondern sind durch Elfenbeinplatten von ihm isolirt; dagegen stehen alle übrigen Theile, wie z. B. B, mit M und dieses mit dem Erdboden in leitender Verbindung, und zwar durch den Draht, welcher den Metallknopf J mit der Klemmschraube T (s. Fig. 418) verbindet. NN′ ist also stets mit dem Erdboden in Verbindung, nn′ ist stets isolirt und beide bewirken die Unterbrechung und Herstellung der Leitung.

Werden nämlich der Anker AA und der Hebel NN′ durch die Feder R in die Ruhelage zurückgezogen, so drückt d den Rand x der Brücke gegen die Stellschraube V an P. Zwischen x und V ist eine kleine Feder angebracht, um ihre Berührung zu sichern. Wird aber der Anker durch die Pole E und E′ angezogen, so bewegt sich d nach x′ und drückt die Brücke an V′, so daß x von P′ isolirt ist.

Die elektrischen Ketten auf beiden Stationen müssen so aufgestellt sein, daß beide miteinander eine Säule bilden und die Leitungen so verbunden sein, daß die Apparate von der Elektrizität in entgegengesetzter Richtung durchgangen werden.

Der positive Poldraht der Säule geht zur Klemmschraube C, von da durch den Draht f′ zu dem Polende E′ des Elektromagneten; das

andere, zu dem Polende E gehörige Ende der Spirale ist unter der Platte und tritt durch eine mit Elfenbein ausgelegte Oeffnung Q herauf, um sich mittelst seiner Verlängerung f mit T zu verbinden. Dadurch ist C mit dem Streifen nn' in beständige Verbindung versetzt. Von nn' aus geht noch ein Draht l, welcher sich verzweigt: ein Theil geht nach P, der andere durch die Oeffnung Q unter die Scheibe MM und unter ihr fort bis zur Feder X.



(Fig. 422.)

Von der Klemmschraube C, welche den positiven Poldraht aufnimmt, geht noch ein Draht h bis zu der unterhalb der Platte MM links unten in Fig. 418 befindlichen Feder g' (Fig. 422); in die andere Feder g tritt von der Klemmschraube L aus die Leitung der anderen Station, geht von da nach dem von ihr geklemmten Metallknopfe G und dieser steht in steter Verbindung mit dem Stromwender U, welcher sich entweder an die Feder Y oder an X legen läßt. Die Feder Y steht in leitender Verbindung mit der Schraube S und dadurch mit dem Wecker der Station, zu welchem W der Drücker ist.

Der negative Poldraht geht nach der Klemmschraube Z und von da nach der Schraube T und dem Erdboden. Da nun von dem Metallknopfe J auf der Scheibe MM eine Verbindung nach T geht, so ist auch M mit dem Erdboden verbunden.

Die elektrischen Ketten auf beiden Stationen müssen so aufgestellt sein, daß beide miteinander eine Säule (Bd. II., S. 333) bilden und die Leitungen so verbunden sein, daß die Apparate von der Elektrizität in entgegengesetzter Richtung durchgangen werden. Es muß daher auf der einen Station C mit dem positiven, Z mit dem negativen Pole der Säule in leitender Verbindung stehen, während auf der anderen Station die Verbindung umgekehrt ist.

Ehe man telegraphirt, sind auf beiden Stationen die Stromwender U an die Federn Y gelegt und dadurch ist eine Verbindung mit den Weckern hergestellt. Will man telegraphiren, so drückt man auf den Knopf W. Dadurch wird die Feder g von G entfernt, kommt mit dem darunter befindlichen g' in Berührung und der von C ausgehende Poldraht führt die positive Elektrizität durch die Federn g und g' und die Klemmschraube L in die Linienleitung nach der anderen Station, wo sie bei L ankommt, von da durch die Feder g und den noch mit ihr in Berührung stehenden Metallknopf G nach der Feder Y und dem Stromwender geht und die Weckervorrichtung auslöst. Auf der zweiten Station wird das so empfangene Signal auf dieselbe Weise erwidert. — Ist dieses geschehen, so hat sich die Feder g wegen ihrer Elastizität wieder an den Kopf G gedrückt und wird nun auf beiden Stationen der Stromwender von der Feder Y auf die Feder X gelegt, so ist die

Verbindung der beiden Säulen auf den Stationen geschlossen und das Telegraphiren kann beginnen.

Die Verbindung geht nun von C aus durch den Draht f' zu den Spiralen des Elektromagneten, dann durch f zu F und dem Streifen nn' zu der Schraube V und das Metallstück P, zum Drahte ll', gelangt zur Feder X und zum Stromwender U, von da aus nach G, g zu dem Knopfe L, durchgeht den Liniendraht nach der anderen Station, wo die Elektrizität die entsprechenden Theile des Apparates in entgegengesetzter Richtung durchlauft, um sich dann in den Erdboden zu verlieren.

Ist so der Leitungskreis auf beiden Stationen geschlossen, so werden die Anker AA angezogen und die Hebel NN' folgen der Bewegung, d schlägt an x', wodurch die Brücke von der Schraube V entfernt und gegen die isolirende Schraube V' gedrückt wird. Nun ist die Leitung unterbrochen, der Anker wird von den Polenden des Elektromagneten nicht mehr angezogen und folgt mit dem Hebel NN' der ihn abziehenden Feder. Dadurch wird d wieder gegen x gedrückt, die Brücke mit der Schraube V in Berührung gebracht, dadurch die Leitung geschlossen und der Anker wieder angezogen.

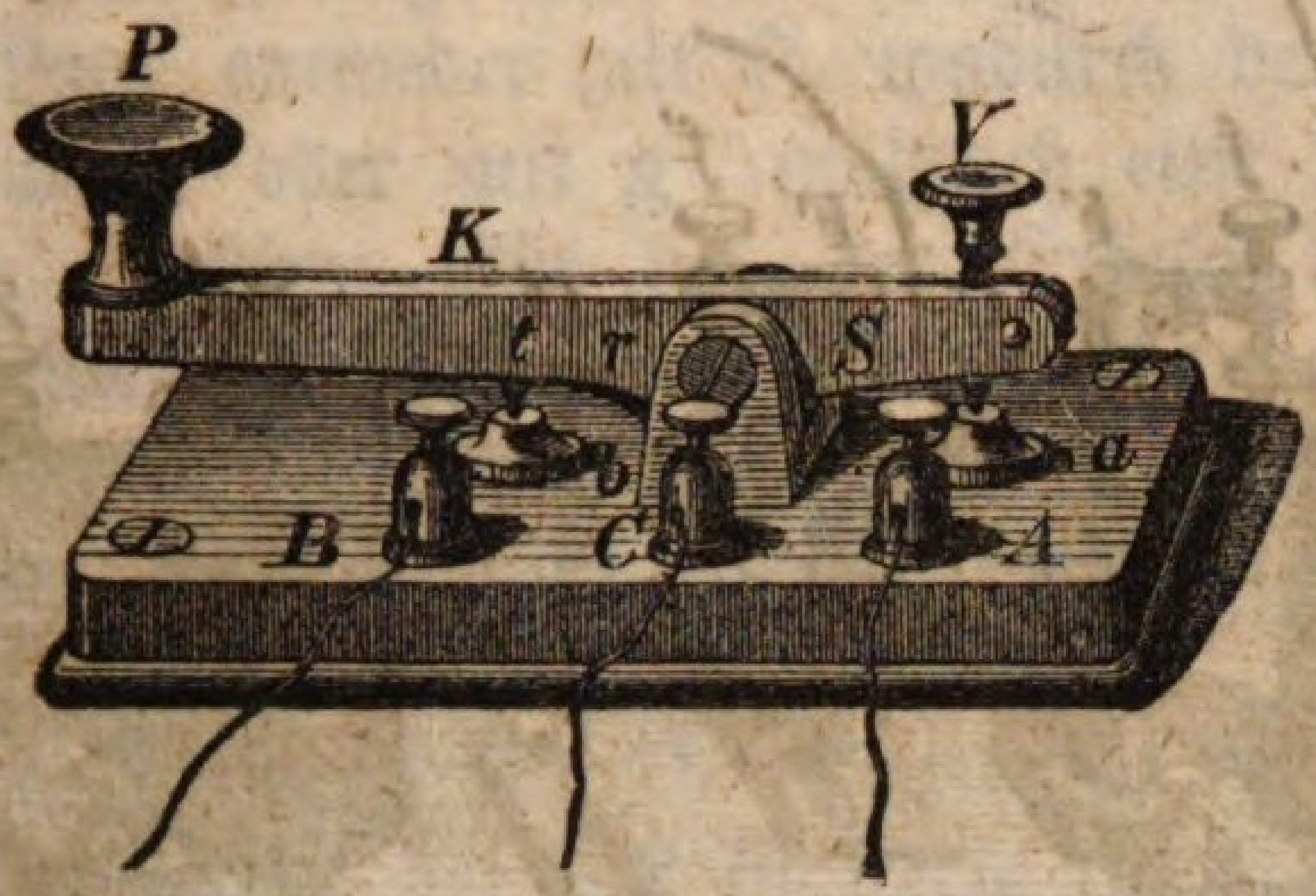
So geht das Spiel des Hebels NN', mit ihm die Drehung des Rades O und der Zeiger ununterbrochen fort, bis der Bewegung ein äußeres Hinderniß durch das Anhalten eines Zeigers sich entgegensetzt. Die Schrauben sind für diesen Fall so gestellt, daß sie mit den Enden der Brücke xx' nicht in Berührung kommen und der Strom unterbrochen bleibt.

Haben die Zeiger auf beiden Stationen aus irgend einem Grunde eine verschiedene Stellung bekommen, so bringt man sie vor dem Telegraphiren ohne Benutzung der Elektrizität und der Tasten dadurch auf das vor dem A befindliche Zeichen, daß man wiederholt auf H drückt und so das Ende des damit in Verbindung stehenden Winkelhebels auf den Anker AA stößt, wodurch die Zeiger bei jedem Stoße um einen Buchstaben weiterrücken.

Da nun auch bei diesem Telegraphen die Sicherheit der Benachrichtigung von der schnellen und richtigen Auffassung und Aufzeichnung der durch den kurzen Stillstand der Zeiger bezeichneten Buchstaben abhängt, und überdies eine spätere Kontrolle nicht statthaben kann, so sann man auf ein Mittel, durch bleibende sichtbare Zeichen sich verständlich zu machen und dazu dient zunächst der Schreib- oder Druck-Telegraph von Morse.

Es gehört dazu ein Schlüssel (Fig. 423), von welchem aus die Linienleitung zur zweiten Station geht, mit einer zu ihm gehörigen Linienbatterie, welche hier nicht gezeichnet ist; ein Druckapparat, welcher die von einer anderen Station gegebenen Zeichen auf einem Papierstreifen fixirt und ein Relais mit einer zweiten Batterie, der Lokal-

batterie. Fig. 424 enthält auf der linken Seite den Druckapparat und von C aus rechts das Relais, aber ohne die Batterie. Jede Station einer Telegraphenlinie enthält alle Apparate; sollen aber Zwischenstationen eine Nachricht nicht erhalten, so müssen sie ihr Relais ausschalten, so daß die Leitung nur zwischen den beiden miteinander in Verbindung tretenden Stationen vorhanden ist. Für die weitere Betrachtung müssen wir uns denken, daß auf der einen Station der Schlüssel, auf der anderen der übrige Theil des Apparates in Thätigkeit ist.

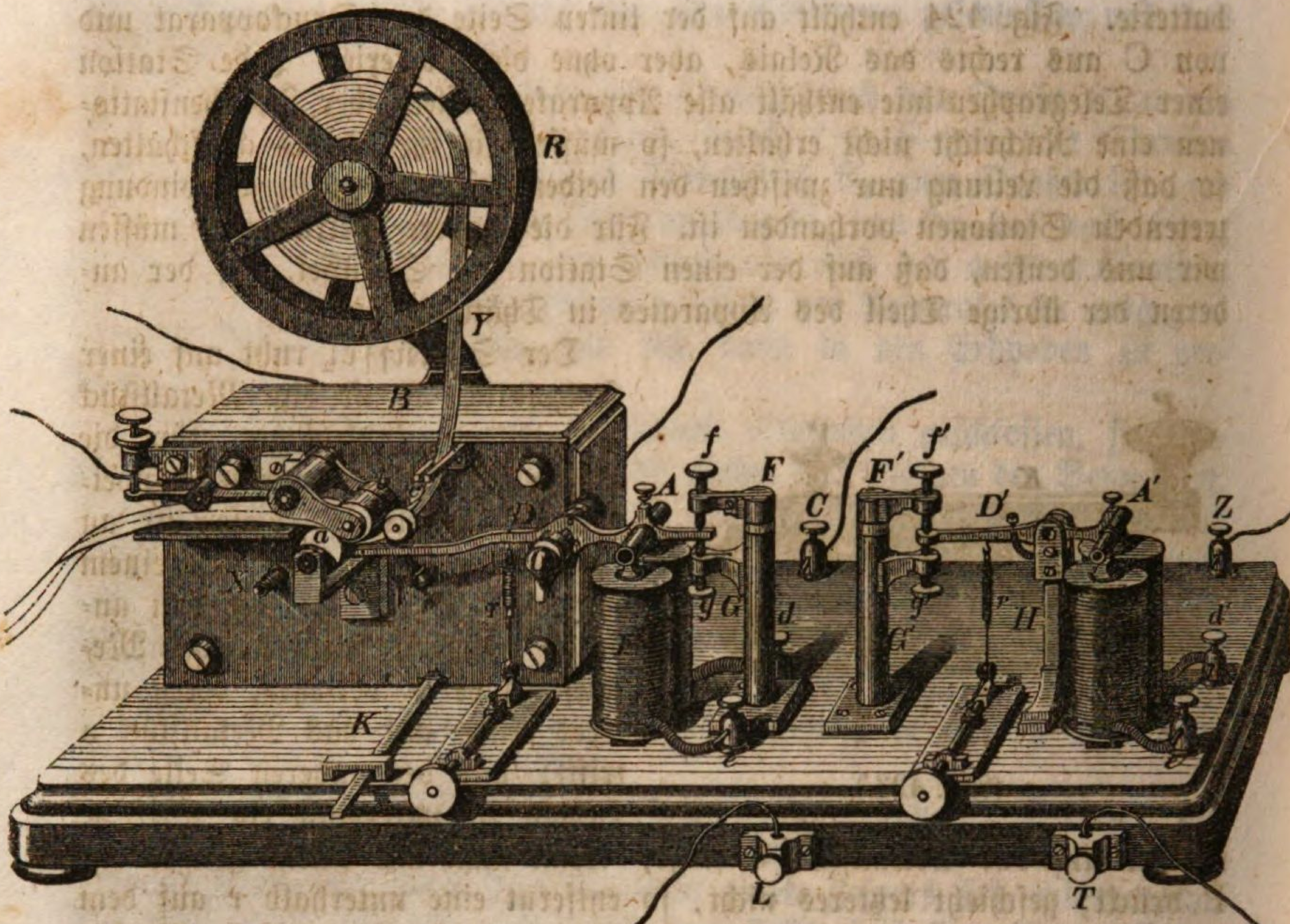


(Fig. 423.)

Der Schlüssel ruht auf einer Holzplatte, S ist ein Metallstück mit einem Zapfenlager für die horizontale Axe des metallenen zweiarmigen Hebels K, dieser ist an dem einen Ende oben mit einem hölzernen Drücker P, an dem anderen mit einer durchgehenden Metallschraube V versehen, deren unteres Ende auf das Metallstück a trifft; auf der anderen Seite des Hebels ist unterhalb ein Stift t, welcher auf das Metallstück b trifft, wenn man mit einem Finger auf P drückt; geschieht letzteres nicht, so entfernt eine unterhalb r auf dem Holze befestigte Feder diesen Arm des Hebels nach oben, drückt also die Schraube V an a. Von den drei Klemmschrauben A, C, B ist A in metallischer Verbindung mit a, C mit S und B mit b Von der Lokalbatterie geht der positive Poldraht nach B, der negative nach dem Erdboden; von C aus geht die Linienleitung nach der anderen Station und A ist mit dem Druckapparate der betreffenden Station verbunden, wie wir es in ähnlicher Weise auf der anderen Station bei dem Druckapparate derselben erkennen werden.

Dieser Schlüssel dient zur Herstellung und Unterbrechung der Linienleitung. Wird auf P nicht gedrückt, so ist die Leitung zwischen K und der Lokalbatterie (zwischen t und b) unterbrochen, wogegen die in dem Liniendrahte ankommende Elektrizität von C nach S, K, V, a, A und von da in den nach dem Druckapparate dieser Station führenden Leitungsdraht geht. — Wird aber P herabgedrückt, so entfernt sich V von a und t kommt mit b in Berührung, so daß die von der Lokalbatterie ausgehende Elektrizität den Weg nach B, b, t, K, S, C und in dem Liniendrahte nach der anderen Station nimmt, um dort den Druckapparat in Bewegung zu setzen.

Der Druckapparat mit dem Relais (Fig. 424) ist etwas zusammengesetzter. Es sind hier zwei Elektromagnete vorhanden, der eine rechts gezeichnete E′ gehört zum Relais, der andere E zum Druckapparate; der erstere empfängt seinen Magnetismus durch die von der



(Fig. 424.)

Linienleitung der anderen Station ausgehende Elektrizität, welche dort bei A aus-, hier bei L eintritt, nach der metallisch damit verbundenen Klemmschraube e' geht, dann die Spirale E' bildet, bei d' austritt, nach T und von da aus in den Erdboden sich wendet; die andere Spirale E erhält ihren Magnetismus durch die Lokalbatterie, deren Poldrähte bei C und Z in den Apparat treten. Die weitere Leitung wird sich bald ergeben.

Auf der Mittellinie zwischen den beiden Spiralen E' steht ein metallischer Ständer H, welcher an einer horizontalen Axe den Metallhebel D' trägt; dieser hat an dem Ende über den Spiralen einen Eisenanker A', das andere Ende bewegt sich zwischen den Enden zweier Metallschrauben f' und g'. Die letztere ist mittelst eines Metallstückes an den hohlen Ständer G' befestigt, erstere aber an ein Metallstück F', welches von G' durch Elfenbein isolirt ist. Eine durch eine Schraube mehr oder weniger anzuspannende Feder r zieht die linke Seite des Hebels D' herab, so daß sein Ende mit der Schraube g' in Berührung tritt, während der Anker sich von den Polfüßen des Elektromagneten entfernt, falls sie unmagnetisch sind; ist aber in diesen Magnetismus erregt worden, so kommt das linke Ende des Hebels mit der Schraube f' in Berührung; sie ist aber so gestellt, daß der Anker den Polen nur ganz

nahe und nicht zur Berührung kommen kann, weil in dem letzteren Falle zum Abreißen desselben zu viele Kraft erforderlich sein würde.

Die Klemmschraube C, welche den positiven Poldraht der Lokalbatterie aufnimmt, steht mit der Schraube d in metallischer Verbindung, und an dieser ist das eine Ende der Spirale des Elektromagneten E, das andere Ende derselben geht nach der Schraube e und diese ist in Verbindung mit dem Ständertheile F. — Die Klemmschraube Z, welche den negativen Poldraht der Lokalbatterie aufnimmt, steht in metallischer Verbindung mit dem Ständer H, also auch mit D′ und je nach dessen Lage entweder mit f′, wodurch der Kreislauf der Lokalbatterie geschlossen wird, oder mit g′, wodurch eine Isolirung eingetreten ist.

Nun läßt sich der Erfolg der Bewegung des Schlüssels auf der einen Station in Beziehung auf das Relais und den Elektromagneten des Druckapparates auf der anderen Station leicht beurtheilen. Drückt man dort auf P, so gelangt die Elektrizität durch die Linienleitung nach L u. s. w. in die Spiralen von E′ und endlich von T aus in den Erdboden; dadurch wird A′ herabgezogen, das Ende von D′ geht hinauf an f′, der Kreislauf der Lokalbatterie ist geschlossen und die Spirale E erzeugt einen Elektromagneten, welcher den über ihm befindlichen Anker A anzieht. Hört der Druck auf P auf, so ist die Linienbatterie der ersten Station von der zweiten isolirt und alle Theile gehen wieder in ihre Ruhelage zurück, indem auch die Lokalbatterie der zweiten Station aufhört, auf E zu wirken.

Der eigentliche Druckapparat hat folgende Einrichtung. In einem Kasten B befindet sich ein Uhrwerk, welches eine aus der Seitenfläche hervorragende Rolle a recht gleichmäßig um eine horizontale Axe in einer Richtung dreht, die der von den Zeigern einer Uhr entgegengesetzt ist. Ueber dieser ist eine zweite leicht drehbare Rolle so nahe, daß ein zwischen gebrachter Papierstreifen Y von etwa 1 Zoll Breite mit fortgezogen wird. Das Papier ist auf einer über dem Kasten befindlichen, leicht drehbaren Rolle R aufgewickelt, geht dann herab zwischen die parallelen Zinken einer Gabel und noch um eine kleine Rolle b, um ihm eine sichere Lage zu geben, damit es sich in einen schwachen Einschnitt der Rolle b von der Breite des Streifens lege. An dem Gehäuse ist noch eine horizontale Drehungsaxe O für einen Hebel D befestigt, welcher auf seinem links liegenden Ende eine mit einer Spitze versehene schief gestellte Schraube V, an seinem anderen Arme einen rechtwinklig daran befestigten Eisenanker über den Polflächen des Elektromagneten trägt. Das noch hervorragende Ende dieses Armes spielt zwischen zwei Stellschrauben f und g so, daß f dem Anker sich nicht zu weit vom Elektromagneten zu entfernen und g ihm nicht zur vollkommenen Berührung zu kommen gestattet. Ist die Drahtspirale E elektrisch, so wird der Anker A angezogen und die Spitze an dem anderen Ende des Hebels macht in den Papierstreifen einen punktartigen Eindruck, wenn die

Anziehung nur einen Augenblick währet, und einen Strich, wenn sie einige Zeit andauert, während das Papier durch die Rollen fortgezogen wird. Ist die Spirale E nicht elektrisch, so zieht die Feder r an der anderen Seite des Hebels den Anker von den Polen weg und der Papierstreifen gleitet unberührt von der Spitze zwischen den Rollen durch. Bei K ist ein Hebelarm, durch dessen Verschiebung nach rechts oder nach links das Uhrwerk ausgelöst oder zum Stillstande gebracht wird.

Aus dem ganzen Zusammenhange ergibt sich also, daß ein momentaner Druck auf den Griff P des Schlüssels in der ersten Station einen Punkt auf dem Papierstreifen der zweiten, ein anhaltendes Niederdrücken desselben aber einen Strich erscheinen läßt. Die Striche dürfen, um schnell zu telegraphiren, nicht zu lang gemacht werden und daher sind bestimmte Vorschriften über die Dauer des Druckes für einen Strich.

Es läßt sich nun leicht für alle Buchstaben des Alphabetes und auch für die Ziffern und Interpunktionszeichen eine bezeichnende Zusammenstellung entwerfen. Die jetzt allgemein übliche ist folgende:

a . —	k — . —	t —
b — . . .	l . — . .	u . . —
c — . —	m — —	v . . . —
d — . .	n — .	w . — —
e .	o . — . . .	x . . — . . .
f . . — .	p	y — — . . .
g — — .	q — — . —	z . — — . .
h	r . — .	
i . .	s . . .	

Der geübte Telegraphist hat auf der Empfangsstation nicht nothwendig, die empfangene Depesche erst von dem Papierstreifen abzulesen, sondern er hört schon aus der Art der Hammerschläge seines Apparates die Aufeinanderfolge der bezeichneten Buchstaben heraus, selbst wenn in einer Minute bis 100 Buchstaben telegraphirt werden.

Jede Zwischenstation muß zwei vollständige Apparate haben, denn der eine muß in Verbindung mit der Linienleitung nach der einen Seite stehen, der andere aber in Verbindung nach der anderen Seite.

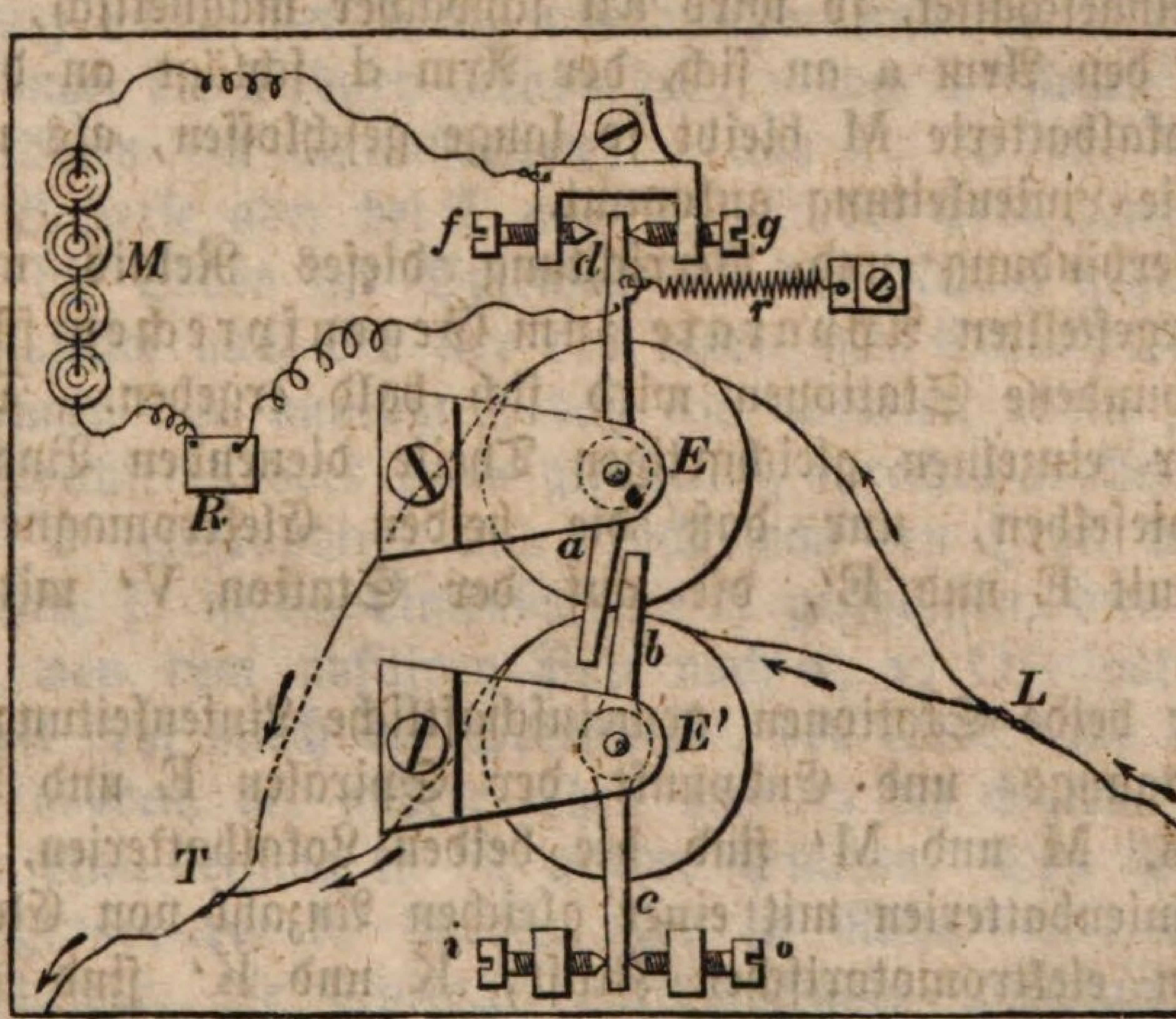
Sind an den Apparaten oder in deren Nähe stets Beamte, so ist die Auslösung eines Weckers zur Erregung der Aufmerksamkeit nicht nothwendig, sondern ein schnelles Klappern mit dem Hammer hinreichend.

Unbeschadet der Hauptsache kann die Bauart im Einzelnen manche Verschiedenheiten darbieten. Auch kann man statt der Eindrücke auf das Papier blaue Zeichen herstellen, wenn man das Papier mit einer wässrigen Lösung von gelbem Blutlaugensalze getränkt hat und es noch etwas feucht verwendet. Der schreibende Stift von Eisen ist mit dem posi-

tiven, das Papier durch die Rolle, auf welcher es sich bewegt, mit dem negativen Pole der Säule verbunden. Das Verfahren ist etwas umständlich, weil das Papier stets in ziemlich frischem Zustande verwendet werden muß.

Höchst interessant ist die Beantwortung der Frage, ob es möglich ist, durch einen einzelnen Leitungsdraht gleichzeitig nach entgegengesetzten Richtungen zu telegraphiren. Wenn wir andere Schwingungserscheinungen betrachten, so mußte dies vonvornherein als möglich erscheinen. Erregen wir Kreiswellen an zwei verschiedenen Orten, so durchdringen die des einen Systems die des anderen und pflanzen sich jedes für sich weiter fort. Ebenso bleiben einander entgegenkommende Schallwellen jenseits der Orte, wo sie zusammentreffen und Interferenzen bilden, noch wahrnehmbar. Es ist klar, daß das Massentheilchen eines Körpers, welches, durch zwei Kräfte angeregt, sich in einem bestimmten Augenblicke in zwei einander entgegengesetzten Schwingungsphasen befinden soll, keiner von diesen Kräften allein folgen kann, sondern, daß es der Resultirenden aus ihnen nachgibt. Sind in diesem Falle die Schwingungskräfte gleich, so ist das Resultat Null oder das Massentheilchen bleibt in seiner ursprünglichen Gleichgewichtslage und wir haben an der betreffenden Stelle gar keine Erscheinung; sind sie ungleich, so bleibt noch ein Erfolg, aber eine Schwächung ist unvermeidlich. Dies haben die Erfahrungen beim Telegraphiren auch bestätigt.

Wir wollen nun den von Siemens ausgeführten sehr sinnreichen Apparat zum Gegensprechen und das dazu angewendete Relais anführen.



(Fig. 425.)

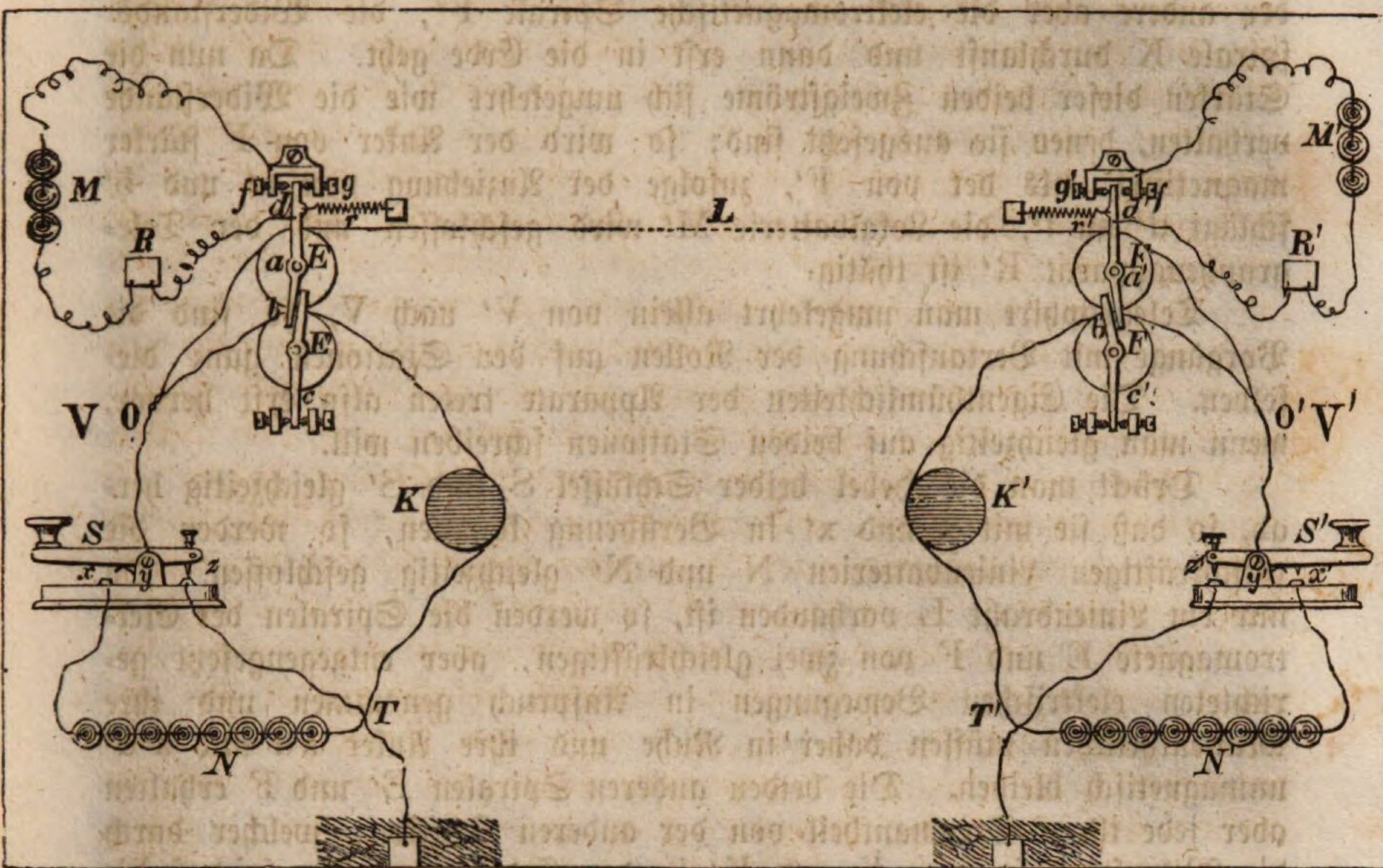
Fig. 425 stellt das Relais zum Gegensprechen im Grundrisse dar. E und E' sind zwei von einander unabhängige Elektromagnete,

deren zylindrische lothrecht gestellte Spiralen befestigt, deren Eisenkerne aber um ihre Axen drehbar sind. Die Windungen beider Drähte gehen in derselben Richtung und daher haben die beiden oberen Enden der Eisenkerne, sowie die horizontal daran befestigten und mit ihnen drehbaren Anker ad und br von weichem Eisen einerlei Polarität. Die Anfänge beider Spiralen sind mit der Linienleitung L, die Enden mit der Erdleitung T verbunden.* Die Arme a und b der beiden Anker sind im Ruhezustande 2 bis 3 Millimeter von einander entfernt, die Drehung von bc wird durch die Stellschrauben i und o und die von ad durch die Schrauben f und g innerhalb gewisser Gränzen gehalten; die Spitze von g isolirt und die zu stellende Feder r zieht den Arm d des Ankers an sie; die Schraube f hat aber eine leitende Spitze. M bedeutet eine Lokalbatterie, von welcher der eine Poldraht nach f, der andere durch einen eingeschalteten Telegraphenapparat R nach dem Ankerarme d geht.

Berührt d die Schraube f, so ist die Säule M geschlossen, lehnt sich d aber an g, so ist sie offen. Kommt die Elektrizität aus der Linienleitung L an, so theilt sie sich in die beiden Spiralen und macht die beiden Anker gleichnamig magnetisch, dann aber vereinigen sich die Elektrizitäten, um in der Erdleitung T zu verschwinden. Wenn die beiden Zweigströme gleiche elektrische Kraft besitzen, so sind die beiden Ankerarme a und b gleichstark magnetisch, stoßen einander ab und bleiben so lange unbeweglich stehen, als die Leitung der Elektrizität stattfindet; ist aber in den Zweigstrom der Spirale E noch irgend ein Widerstand eingeschaltet, so wird ad schwächer magnetisch, als bc, der Arm b zieht den Arm a an sich, der Arm d schlägt an die Schraube f und die Lokalbatterie M bleibt so lange geschlossen, als noch Elektrizität durch die Linienleitung ankommt.

Die Verbindung und Verrichtung dieses Relais mit dem in Fig. 426 dargestellten Apparate zum Gegensprechen für zwei miteinander verbundene Stationen wird sich bald ergeben. Die zur Bezeichnung der einzelnen gleichartigen Theile dienenden Buchstaben sind für beide dieselben, nur daß die beiden Elektromagnete auf der Station V mit E und E′, die auf der Station V′ mit F und F′ benannt sind.

Die für beide Stationen gemeinschaftliche Linienleitung L verbindet den Ausgangs- und Endpunkt der Spiralen E und F von den beiden Relais, M und M′ sind die beiden Lokalbatterien, N und N′ die beiden Linienbatterien mit einer gleichen Anzahl von Elementen und einer gleichen elektromotorischen Kraft; K und K′ sind gleiche, aus Spiralen von Neusilber bestehende und so große Widerstände, daß jeder gleich dem in der ganzen Telegraphenleitung ist; sie sind eingeschaltet in die Ausgangsenden der Spiralen F′ und E′ und stehen andererseits bei T und T′ mit der Erdleitung in Verbindung. S und S′ sind Schlüssel



(Fig. 426.)

des morseschen Telegraphen, R und R' sind wieder die Telegraphenapparate. Die Schlüssel berühren im Ruhezustande die Knöpfe z und z', die Leitung wird hier aber unterbrochen und bei x und x' hergestellt, wenn man die Drücker herabdrückt; x und x' stehen mit den positiven Poldrähten der Linienbatterie, z und z', so wie die negativen Pole dieser Batterie aber bei T und T' mit der Erdleitung in leitender Verbindung; die Enden der Spiralen von den Relais gehen bei O und O' gemeinschaftlich nach der Axe des morseschen Schlüssels.

Wir können nun annehmen, daß eine Station allein sprechen will, daß beide abwechselnd oder beide gleichzeitig sprechen wollen. Will man von V nach V' telegraphiren und drückt man den Hebel des Schlüssels S auf x herab, so ist die Linienbatterie N geschlossen, denn die Elektrizität kommt von dem positiven Pole nach x, y, O, spaltet sich hier: der eine Theil geht durch die Spirale E', den Widerstand K und durch T in den Erdboden, der andere Theil geht in die Spirale E und von da durch die Linienleitung in die andere Station. Das Relais V und der Telegraphenapparat R bleiben aber in Ruhe, weil die Leitungswiderstände beider, die Spiralen durchlaufenden Stromzweige einander genau gleich sind, also auch gleich stark magnetisiren. Der Stromtheil, welcher in die Linienleitung geht, kommt bei dem Elektromagneten F an, spaltet sich in O', von wo ein Theil ohne große Hindernisse durch den ruhenden Schlüssel bei y' und z' und dann nach dem Erdboden geht;

der andere aber die elektromagnetische Spirale F′, die Widerstands-spirale K durchlauft und dann erst in die Erde geht. Da nun die Stärken dieser beiden Zweigströme sich umgekehrt wie die Widerstände verhalten, denen sie ausgesetzt sind; so wird der Anker von F stärker magnetisirt, als der von F′, zufolge der Anziehung von a′ und b′ schlägt d′ an f′, die Lokalbatterie M′ wird geschlossen und der Telegraphenapparat R′ ist thätig.

Telegraphirt man umgekehrt allein von V′ nach V, so sind die Vorgänge mit Vertauschung der Rollen auf den Stationen ganz dieselben. Die Eigenthümlichkeiten der Apparate treten also erst hervor, wenn man gleichzeitig auf beiden Stationen schreiben will.

Drückt man die Hebel beider Schlüssel S und S′ gleichzeitig herab, so daß sie mit x und x′ in Berührung kommen, so werden die gleichkräftigen Linienbatterien N und N′ gleichzeitig geschlossen. Da nur ein Liniendraht L vorhanden ist, so werden die Spiralen der Elektromagnete E und F von zwei gleichkräftigen, aber entgegengesetzt gerichteten elektrischen Bewegungen in Anspruch genommen und ihre Massentheilchen müssen daher in Ruhe und ihre Anker ad und a′d′ unmagnetisch bleiben. Die beiden anderen Spiralen E′ und F erhalten aber jede ihren Stromantheil von der anderen Station, welcher durch die Widerstandsspiralen K und K′ in den Erdboden geht, so daß die Anker bc und b′c′ allein magnetisch werden, die anderen Anker ad und a′d′ anziehen, die Lokalbatterie schließen und die Telegraphenapparate in Thätigkeit setzen.

Wenn also eine einzelne Station spricht, arbeitet der Apparat auf der anderen Station unter dem Einflusse der Linienbatterie der sprechenden Station; sprechen beide Stationen gleichzeitig oder drückt man den Schlüssel auf beiden gleichzeitig herab, so empfängt man die Nachricht unter der Wirkung der eigenen Lokalbatterie.

Wenn auch das wissenschaftlich in Aussicht gestellte Gegensprechen hier auf eine vortreffliche Weise zur Ausführung gebracht worden ist, so macht man doch davon fast gar nicht Gebrauch, weil das Bedürfniß noch nicht ein eben sehr drängendes ist.

Da bei dem morseschen Telegraphen die Zuverlässigkeit einer empfangenen Nachricht von der Gewandtheit, Sicherheit und Tüchtigkeit des Zeichengebers abhängt, so hat man schon längst auf Mittel gesonnen, eine Originaldepesche genau so, wie sie aufgegeben worden ist, an der Empfangsstation von dem Apparate selbst geschrieben zu erhalten, ohne daß eine Irrung oder Fälschung eintreten kann. Es scheint dem Unkundigen absolut unmöglich zu sein, daß der Hunderte von Meilen lange Telegraphendraht imstande sein sollte, als Schreibfeder oder Zeichenstift zu dienen, um nicht nur Schriftzüge, sondern auch allerlei Zeichnungen treu wiederzugeben, und doch sind nicht nur glückliche Versuche gemacht, sondern auch im Großen, namentlich seit dem 15. Februar 1865

zwischen Paris und Lyon ist die Ausführung im Großen bewirkt worden und zwar mittelst des von Caselli angegebenen Pantelegraphen. Man nannte früher die den Zweck erstrebenden von Tschopp, Bains, Bakewell u. a. ausgeführten Einrichtungen **Kopirtelegraphen**. Ihr Prinzip ist folgendes.

Auf jeder von den beiden Stationen ist eine metallene Walze, welche durch ein Uhrwerk beide gleichzeitig und gleich schnell um ihre Axe gedreht und dabei in der Richtung ihrer Axen gleichmäßig fortgeschoben werden; beide Walzen sind mit dem Erdboden in leitender Verbindung; die Oberflächen beider werden von einem Metallstifte fast berührt, auf der Ausgangsstation ist der negative Poldraht einer Batterie mit dem Stifte der Walze, der positive aber mit der Linienleitung verbunden; diese geht nach dem Stifte auf der Empfangsstation. Auf der ersten Station wird die Depesche in nicht zu kleiner Schrift auf ein leitendes Papier (Metallfolie) mit einer nicht leitenden Dinte (Firniß) geschrieben und dieses um die Walze festgelegt; auf der zweiten Station wird die Walze mit einem Papiere überzogen, welches mit Stärke und Jodkalium (Jodkaliumkleister) getränkt worden und etwas feucht gehalten wird. Beide Stifte sind so zu stellen, daß sie über die beiden Umhüllungen der Walzen mit leichter Berührung gerade dahin gleiten. — Drehen sich nun die beiden Walzen, so beschreiben die Stifte auf ihren Oberflächen enge Spiralen. Der elektrische Kreislauf ist geschlossen, wenn der erste Stift leitende Stellen berührt; er ist geöffnet, wenn er auf die Schriftzüge trifft. Im ersten Falle bringt der andere Stift vermittelst der positiven Elektrizität eine Zersetzung des Jodkaliums hervor, indem sich das Jod mit der Stärke verbindet, und färbt die berührte Stelle des Papiers blau, im zweiten Falle läßt der Stift die berührte Stelle weiß. Daraus ergibt sich, daß die Schrift der ersten Station hier weiß in Blau erscheint. Man kann auf diese Weise wohl mehr als 100 Worte in einer Minute telegraphiren.

Bei dem **Pantelegraphen** von Caselli besorgen auf den beiden Stationen zwei Pendel, deren Gang durch zwei übereinstimmende und eine Differenz von $^3/_{100}$ Sekunden ausgleichende Reguliruhren vollkommen gleichmäßig erhalten wird, mittelst Hebeln die Bewegung zweier Eisenstifte, welche auf jeder Station über zwei befestigte zylinderförmig gekrümmte Metallplatten mit dem Depeschenpapiere recht nahe liegende Linien beschreiben. Die Stifte werden, während sie die einzelnen Linien bei jedem Pendelgange beschreiben, mit dem sie tragenden Schlitten auf einer Schraube fortgeschoben, deren Axe mit der Zylinderaxe parallel ist. Das Pendel selbst besteht aus einem etwa 2 Meter langen Stahlstabe, an dessen unterem Ende eine Eisenplatte ist, welche zwischen zwei durch eine Lokalbatterie und einen Stromwender abwechselnd erzeugten Elektromagneten hin und her schwingt. Am Aufgabeorte wird die Depesche oder die Zeichnung mit isolirender Dinte auf Staniol geschrieben

oder gezeichnet und auf die Zylinderfläche befestigt, an der Empfangsstation ist ein mit einer Lösung von Kaliumzyanür getränktes Papier aufgelegt. Die Verbindung der Linienbatterie ist nun so, daß, wenn auf der Aufgabestation der Stift das Metall berührt, die Elektrizität in die Erde geht; wenn aber der Stift auf die Schrift trifft, die Linienleitung hergestellt ist und der Stift auf der zweiten Station auf seinem Papiere ein berlinerblaues Zeichen herstellt. Auf diese Weise werden die Schriftzüge des Originals aufstreueste in einer feinen blauen Schraffirung wiedergegeben. Da bei jedem Apparate zwei Zylinderflächen sind, und auf jeder ein Papier bis zu 120 Quadratzentimetern angebracht werden kann, worauf 250 Wörter platzfinden; so lassen sich in 20 Minuten auf diese Weise 500 Wörter telegraphiren. — Es ist klar, daß man auch Zeichnungen treu kopiren kann, wenn nur die Linien nicht allzunahe aneinander sind, da die Linien des Originals in der Kopie fast nur aus lauter nahe aneinander liegenden Punkten zusammengesetzt sind.

Nachdem wir die magnetisirenden Wirkungen der Elektrizität betrachtet haben, bleibt uns nur übrig, noch Einiges über ihre chemischen Wirkungen und über die Erzeugung von Schall durch sie anzuführen.

4) Die Natur der galvanischen Elektrizität brachte es mit sich, daß wir chemische Zersetzungen und Verbindungen sowohl innerhalb einer Kette, als auch außerhalb derselben bei einem Stoffe, welchen die elektrische Bewegung zu durchdringen genöthigt wird, erwähnen mußten, so daß der Chemismus uns bereits als Ursache und Wirkung der Elektrizität erschienen ist; wir können uns daher hier ganz kurz fassen.

Chemische Wirkungen zeigen sich nicht blos bei der dynamischen, sondern auch bei der statischen Elektrizität, wenn man nur dafür sorgt, daß möglichst rasche Entladungen und Ladungen wiederholt aufeinander folgen.

Unter Umständen ist schon der kleinste einfache elektrische Funke mit seiner bedeutenden Schwingungszahl hinreichend, eine chemische Verbindung hervorzubringen, wie wenn er im Knallgase (1 Maß Sauerstoff mit 2 Maß Wasserstoff) entwickelt wird. Dagegen wird die Zerlegung des Wassers nur durch eine andauernde Entwickelung von Elektrizität möglich. Wenn zwei sehr feine, in gläserne Haarröhrchen geschmolzene Platindrähte im Wasser mit ihren kaum sichtbaren Enden einander nahe gegenüber stehen und man verbindet den einen mit dem positiven Konduktor, den anderen mit dem negativen Reibzeuge; so zeigt sich an jenem Sauerstoff, an diesem Wasserstoff. — Einen bemerkenswerthen Fall bietet die Ausscheidung der Metalle in absolut reinem Zustande aus Auflösungen eines Neutralsalzes, z. B. Kupfervitriole dar. Man legt auf zwei etwas von einander abstehende Streifen von Zinnfolie zwei etwas überragende Platindrähte so, daß sie einander noch nicht berühren und

füllt den Zwischenraum mit einem dicken Striche einer solchen Auflösung an; so zeigt sich am negativen Drahte das Kupfer.

Durch galvanische Elektrizität lassen sich Zerlegungen und Metallreduktionen viel schneller hervorbringen, weil hier die Ladungen und Entladungen in außerordentlich kleinen Zwischenzeiten aufeinander folgen und so eine bedeutende Kraft entwickeln. Es ist berechnet worden, daß die Kraft, welche 1 Millegramm Wasser zu zersetzen vermag, gleich ist der Kraft, womit die Erde 2956 Zentner anzieht.

Zur Niederschlagung von Metallen aus ihren Lösungen sind aber nicht einmal besondere galvanische Apparate erforderlich: hält man ein blankes Stück Kupfer in eine Silberlösung, so wird das sämmtliche Silber ausgeschieden, indem sich Kupfer auflöst. Kupfer aber kann durch Silber aus einer Lösung nicht ausgeschieden werden. Blei wird durch Eisen, nicht aber durch Kupfer gefällt; Kupfer aber durch Blei und Eisen. Es ist in technischer Beziehung wichtig, die verschiedenen Metalle und ihre Leistungen in dieser Beziehung näher kennen zu lernen und deshalb hat man die Metalle in eine Reihenfolge gebracht, welche man die eletrochemische Spannungsreihe nennt, in welcher jedes folgende Metall durch ein vorhergehendes aus seiner Lösung gefällt wird; sie ist für die gangbarsten Metalle: Zink, Zinn, Eisen, Blei, Kupfer, Silber, Gold, Platin.

5) Abgesehen davon, daß die Luft, durch welche die Abgleichung elektrischer Gegensätze geschieht, ausgedehnt wird und dadurch einen Schlag oder Knall veranlaßt, bringen die, wie wir erkannt haben (S. 205), äußerst raschen elektrischen Schwingungen unmittelbar auch die verhältnißmäßig sehr langsamen Schallschwingungen in den verschiedenen, selbst sehr wenig elastischen Körpern, wie z. B. dem Blei, hervor. Schon die Reibungselektrizität bringt in den Flaschen einer Nebenbatterie einen leisen Ton hervor, wenn die Ladung durch einen Funkenmesser geschieht. Weil hierbei das Glas in Längenschwingungen geräth, ist es angemessen, das Ohr in der Richtung der Glasflächen zu halten.

Bei der galvanischen Elektrizität hört man in den Leitungsdrähten ein leises Summen, welches von der Fortpflanzung der Atombewegung in den Zersetzungszellen herrührt. — Wenn man eine magnetoelektrische Induktionsrolle mit einer dünnen aufgeschlitzten Metallröhre umgibt, deren Ränder bis zur losen Berührung zusammengebogen sind und man leitet durch die Spirale fortwährend unterbrochene Elektrizität, so lassen sich, je nach den Abmessungen und dem Stoffe der Röhre, Töne von verschiedener Höhe wahrnehmen, deren Stärke mit zu- und abnehmender Stromstärke auch zu- und abnimmt. Ist die Röhre von Eisen, so wird sie dem Eisenkerne entgegengesetzt magnetisch und kann sogar neben der Rolle stehen, nur daß dann der Ton schwächer ist. — Bringt man in eine etwa 12 Zoll lange Rolle von starkem Kupferdrahte isolirt eine

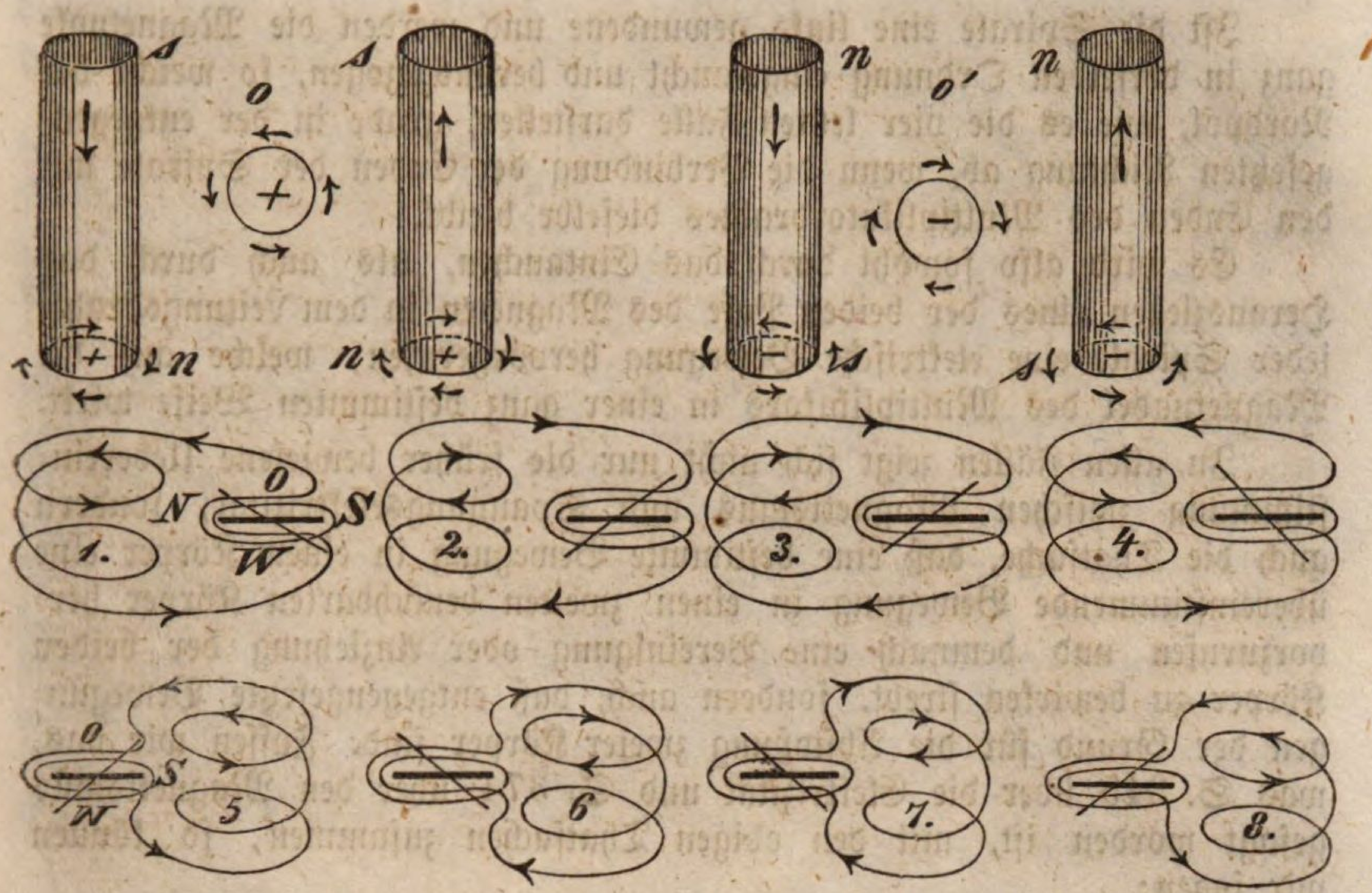
4 Fuß lange und 1 Zoll dicke eiserne Stange mit freien Enden, so gibt sie im Augenblicke des Schließens und Oeffnens einer starken Batterie einen Ton, dessen Höhe sich von dem durch mechanisches Anstreichen erzeugten und zu seinen Längenschwingungen gehörigen tiefsten Tone nicht unterscheidet. Die Metalle tönen sogar, wenn die Elektrizität unmittelbar durch sie selbst geleitet wird oder wenn sie der plötzlichen Wirkung eines sehr starken Elektromagneten ausgesetzt werden. Durch Resonanz oder das Stethoskop werden diese leisen Töne vernehmlich.

Diese Thatsachen sind ein direkter Beweis davon, daß die Elektrizität eine Schwingungserscheinung der Molekel des elektrischen Körpers ist. Beim Laden und Entladen, so wie beim Schließen und Oeffnen einer Kette machen die Theilchen, welche während des sogen. elektrischen Stromes jenseits und diesseits ihrer Gleichgewichtslage schwingen, Bewegungen auf die entgegengesetzten Seiten dieser Lage, was eben Schallschwingungen sind.

V. Wir kommen nun zu der Betrachtung des Magnetismus in Beziehung auf die anderen Molekularerscheinungen. Es scheint im ersten Augenblicke, als ob derselbe, weil er in einer zur Ruhe gebrachten Viertelschwingung besteht, nicht imstande sein könnte, die lebendigen Schwingungen, wie sie den anderen Erscheinungen angehören, hervorzubringen. In der That muß man eine äußerliche mechanische Kraft anwenden, um entweder den magnetischen Körper selbst oder denjenigen, welcher in seiner Nähe unter seinem Einflusse steht, in Bewegung zu versetzen und dadurch erst die anderen Erscheinungen zu erhalten.

1) Der Magnetismus erzeugt zunächst Elektrizität, welche **Magnetoelektrizität** heißt. Um die hierher gehörigen Erscheinungen zu untersuchen, umwickelt man hölzerne Hohlzylinder in links oder rechts gewundenen und isolirten Kupferdrahtspiralen (Induktionsrollen), schaltet in deren Enden einen entferntstehenden Multiplikator ein, dessen Windungen man in den magnetischen Meridian stellt, damit die Magnetnadel in ihrer Ruhelage genau zwischen den Windungen steht. Dazu gehören noch Magnete, gleichgiltig ob Stahl- oder Elektromagnete. Wir wollen nun theils die magnetischen Nordpole, theils die Südpole von stabförmigen Magneten und theils links, theils rechts gewundene Spiralen verwerden.

In Fig. 427 seien ns vier Magnetstäbe, n ihr Nordpol, s der Südpol; zunächst darunter befinden sich vier links gewundene und weiter unten vier rechts gewundene Spiralen; in jede von den Spiralen ist auf dieselbe Weise ein Multiplikator eingeschaltet, bei welchem die vier Hauptweltgegenden durch O, N, S, W angedeutet sind; die starken Striche darin bedeuten die Magnetnadel in ihrer Ruhelage, die schwachen ihre Ablenkung durch die hervorzubringende Magnetoelektrizität. Die an den Magnetstäben unten gezeichneten Pfeile geben die Richtung der positiv magnetischen Schwingungsbewegung der Molekel in jedem Quer-



(Fig. 427.)

schnitte an: sie gehen beim positiven Magnetismus (im ersten und zweiten Falle) in einer links gewundenen, beim negativen (im dritten und vierten Falle) in einer rechts gewundenen Spirale. Wenn man die Magnetstäbe umkehrt, so daß die untere Endfläche von obenher angesehen wird, so zeigt sie sich in den beiden Fällen, wie es die dazwischen gezeichneten Kreise angeben, so daß man sagen kann: der positive Magnetismus zeigt sich in einer Richtung, welche der Bewegung der Zeiger einer vonvorn angesehenen Uhr entgegengesetzt ist; der negative aber in derselben Richtung mit den Zeigern, jener also von oben nach links, dieser von oben nach rechts*).

Taucht man nun (Fall 1) den Nordpol des Magnetstabes in die links gewundene Spirale, so weicht der Nordpol der Magnetnadel des Multiplikators sofort nach Osten ab; die Nadel kommt aber nach einigen Schwankungen zur Ruhe, wenn der Magnetstab in Ruhe bleibt. Zieht man den Magnetstab aus der Spirale zurück (2), so weicht der Nordpol der Nadel nach Westen ab. Taucht man den Südpol ein (3), so geht der Nordpol nach Westen; zieht man den Südpol heraus (4), so weicht der Nordpol nach Osten ab.

---

*) In dieser doppelten Auffassungsweise sind die sich sonst verwirrenden Darstellungen in den verschiedenen Schriften festzuhalten. S. 374 oben ist aus Versehen nicht angegeben, daß die zweite Darstellung gemeint ist. Vergl. Fig. 395.

Ist die Spirale eine links gewundene und werden die Magnetpole ganz in derselben Ordnung eingetaucht und herausgezogen, so weicht der Nordpol, wie es die vier letzten Fälle darstellen, grade in der entgegengesetzten Richtung ab, wenn die Verbindung der Enden der Spirale mit den Enden des Multiplikatordrahtes dieselbe bleibt.

Es wird also sowohl durch das Eintauchen, als auch durch das Herausziehen eines der beiden Pole des Magneten in dem Leitungsdrahte jeder Spirale eine elektrische Bewegung hervorgerufen, welche auf die Magnetnadel des Multiplikators in einer ganz bestimmten Weise wirkt.

In allen Fällen zeigt sich nicht nur die früher bewiesene Uebereinstimmung zwischen Magnetismus und Spannungselektrizität, sondern auch die Thatsache, daß eine bestimmte Bewegung in einem Körper eine übereinstimmende Bewegung in einen zweiten benachbarten Körper hervorzurufen und demnach eine Vereinigung oder Anziehung der beiden Körper zu bewirken strebt, sondern auch, daß entgegengesetzte Bewegungen der Grund für die Abstoßung zweier Körper sind. Fassen wir das, was S. 345 über die Elektrizität und S. 374 über den Magnetismus gesagt worden ist, mit den obigen Thatsachen zusammen, so können wir sagen:

> gleichnamige Elektrizitäten und Magnetismen setzen einander in entgegengesetzter, ungleichnamige aber in derselben Richtung in Bewegung.

In jedem Falle wird durch Abstoßung des Magnetismus die entgegengesetzte Elektrizität frei: beim Hineintauchen des Magneten entsteht im Drahte ein indirekter oder entgegengesetzter, beim Herausziehen ein direkter oder mit dem angewendeten Magnetpole gleichgerichteter Strom. Der jedesmal frei werdende abgestoßene Strom bringt die Bewegung der Magnetnadel hervor, der vom Magneten angezogene ist nach außen unwirksam oder verschwunden.

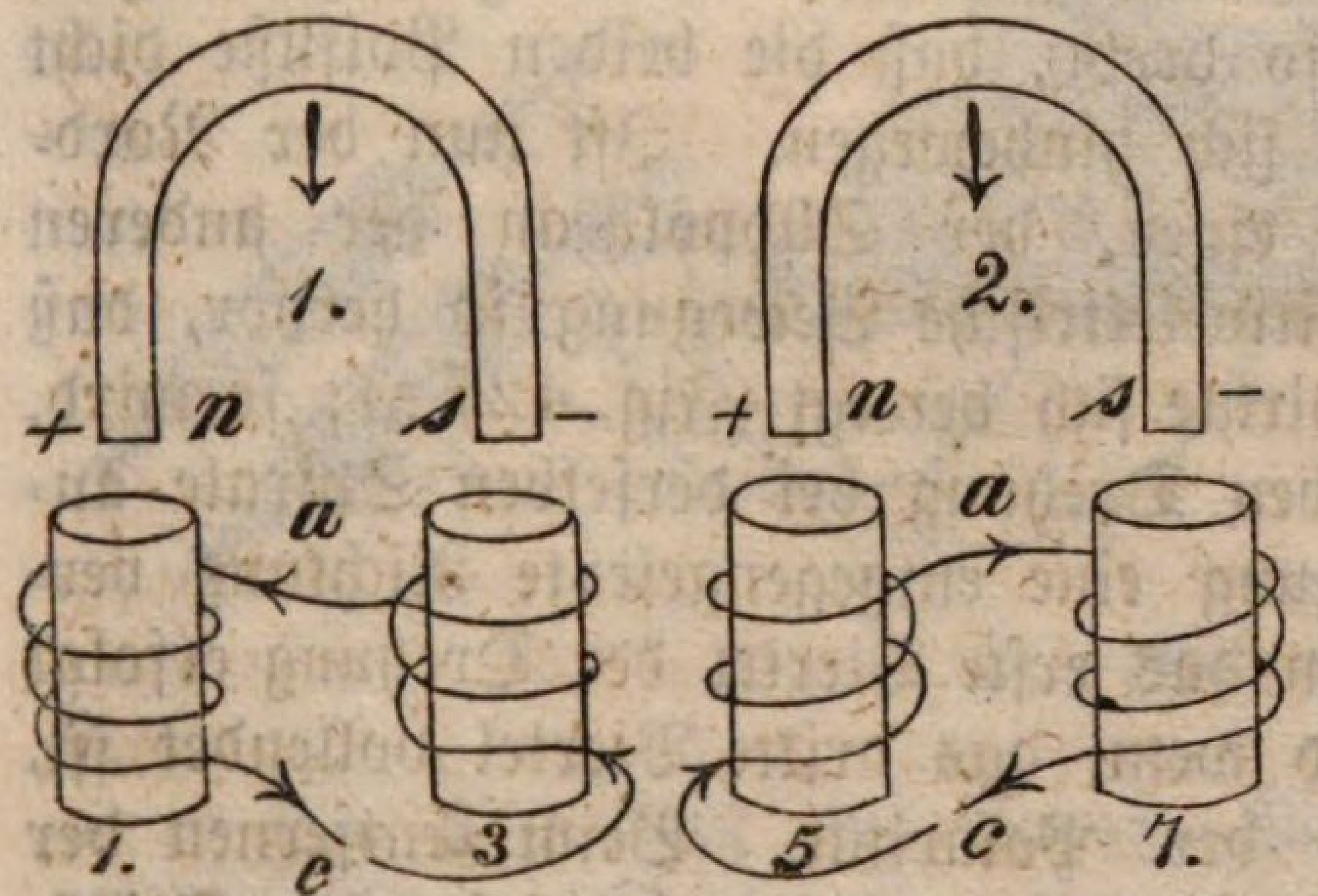
Um aber beide Ströme hervorzubringen, ist es nicht nothwendig, die Magnetpole in die Spirale selbst einzutauchen, sondern es reicht aus, wenn dieselben ihr blos genähert werden. Es ist aber klar, daß in jenem Falle die Wirkung eine kräftigere sein muß, als in diesem.

Um nun Magnetismus in den Spiralen zu erregen, gibt man ihnen auch einen Kern aus weichem Eisen oder aus einem Bündel von isolirten Eisendrähten, wodurch die Oberfläche des Eisens sehr vermehrt wird, und macht dieses Eisen durch Vertheilung mittelst eines genäherten Magneten auch magnetisch; entfernt man den Magneten, so wird das Eisen wieder unmagnetisch. Es wird dadurch also derselbe Zweck auf eine bequemere Weise erreicht, als wenn man den Magneten selbst abwechselnd in die Spirale tauchte und ihn wieder herauszöge. Auch bleibt hierbei die Richtung der elektrischen Bewegung in der Spirale

dieselbe, denn es erregt z. B. der genäherte Nordpol des Magneten in dem entfernteren Ende des Eisenkernes auch einen Nordpol.

Das Hineinstecken (oder Nähern) des Nordpoles (Fall 1) bringt in der Spirale dieselbe Bewegung hervor, wie das Herausziehen (oder Nähern) des Südpoles (Fall 4) und das Herausziehen des Nordpoles (2) dieselbe, wie das Hineinstecken des Südpoles (3). Man kann also die Wirkung sehr verstärken, wenn man beides gleichzeitig verrichtet.

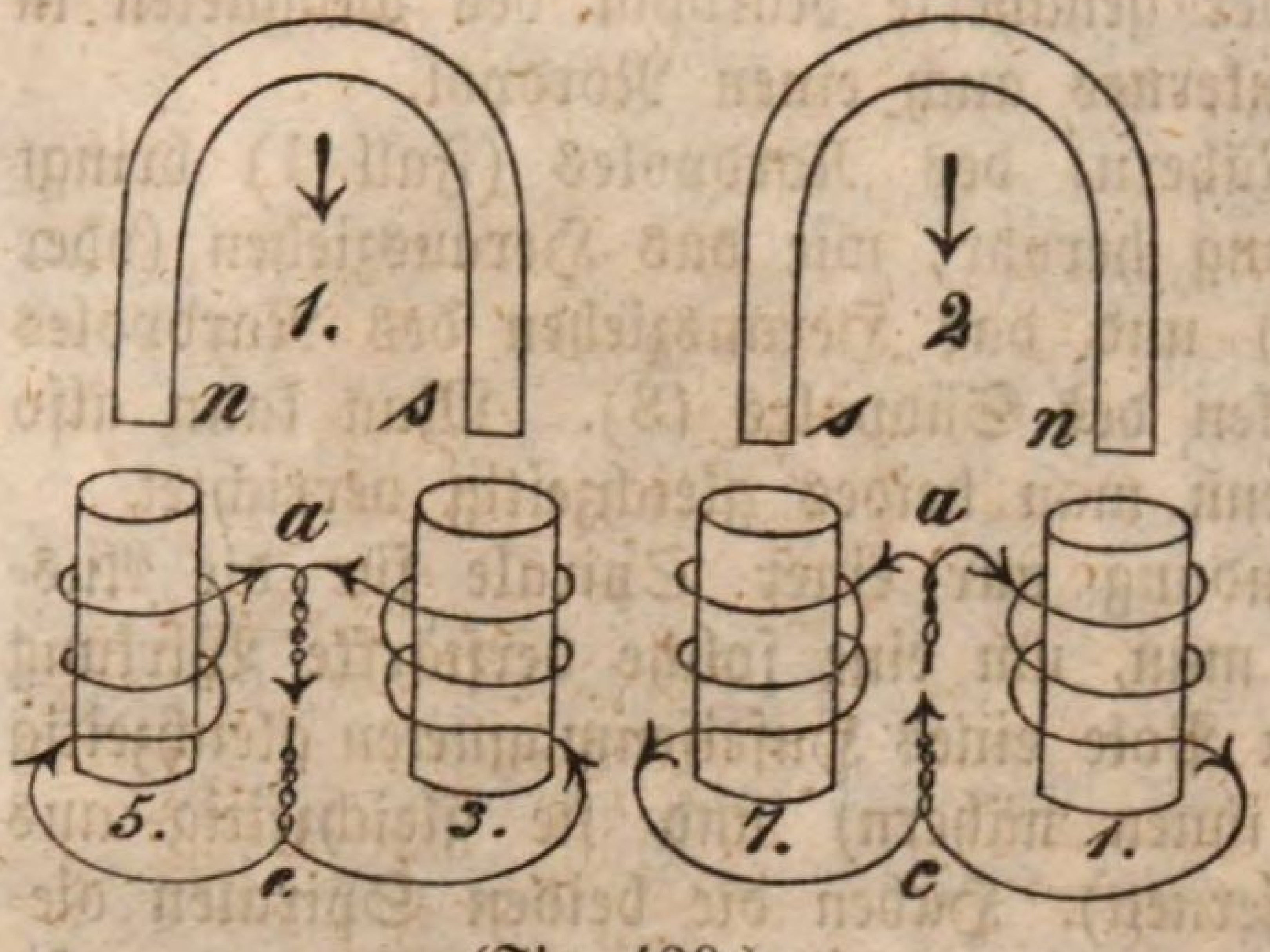
Da dieses aber bei Anwendung nur einer Spirale für die Ausführung unbequem ist, so kann man, um eine solche verstärkte Wirkung zu erhalten, die ungleichnamigen Pole eines Hufeisenmagneten gleichzeitig in zwei Spiralen tauchen (sie ihnen nähern) nnd sie gleichzeitig aus ihnen ziehen (sie von ihnen entfernen). Haben die beiden Spiralen dieselbe Richtung in ihren Windungen, so ist die elektrische Bewegung in ihnen entgegengesetzt (Fall 1 und 3, sowie 2 und 4); bei entgegengesetzter Richtung der Spiralwindungen geht die elektrische Bewegung nach einerlei Richtung (Fall 1 und 7, sowie 2 und 8, 3 und 5, 4 und 6), wenn man auf das Heraustreten der Bewegung an den gleichliegenden Enden der Spiralen Rücksicht nimmt.



(Fig. 428.)

Es läßt sich demnach, wie es Fig. 428 zeigt, leicht eine Verbindung der beiden Endenpaare zweier Induktionsspiralen denken, durch welche die in ihnen mittelst der gleichzeitigen Annäherung oder Entfernung der ungleichnamigen Pole eines Hufeisenmagneten hervorgerufene Elektrizität einerlei Richtung in dem vereinten Drahte erhält. Die erste Zeichnung zeigt den Zustand der elektrischen Bewegung in zwei links gewundenen, die zweite den in zwei rechts gewundenen Spiralen; in beiden Fällen bei der Annäherung der darüber gezeichneten Magnete. Würden dieselben Spiralen beibehalten und läßt man die Magnete sich von ihnen entfernen, so würde die Bewegung in den Spiralen eine entgegengesetzte sein.

Es läßt sich aber auch, wie Fig. 429 zeigt, die Verbindung einer rechts und einer links gewundenen Spirale so vornehmen, daß die elektrischen Bewegungen in beiden zu einem Ganzen verbunden erscheinen. In dem vorigen Falle oder bei Spiralen von einerlei Windungsrichtung gingen die gleichartigen Bewegungen in beiden Spiralen nach entgegengesetzter Richtung in Betreff ihrer Längenaxen; in diesem Falle aber oder bei entgegengesetzter Windungsrichtung, geht die gleichartige Elektrizität in beiden Spiralen nach einerlei Richtung, wie es die Pfeile an



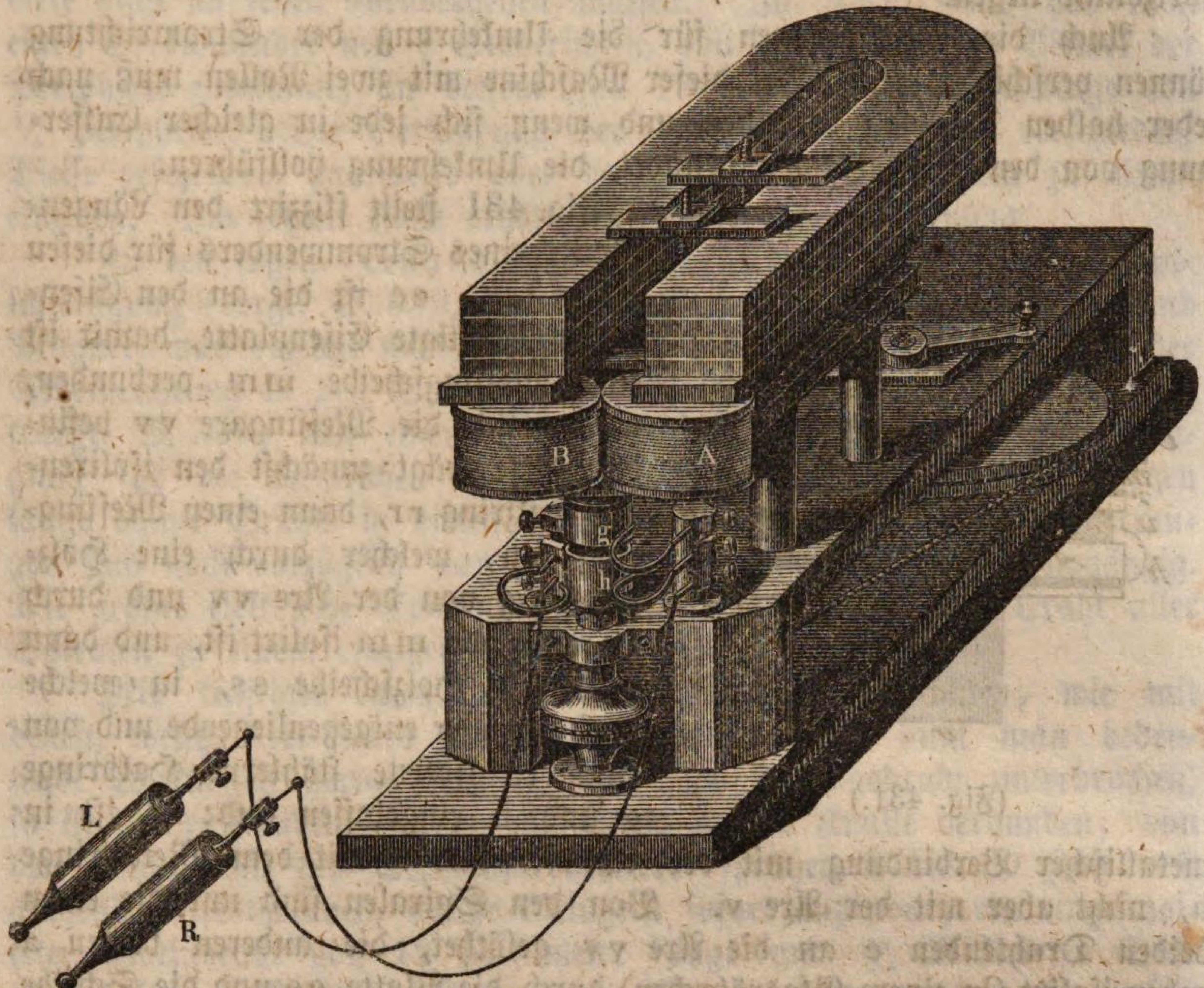
(Fig. 429.)

den paarweise verbundenen Drahtenden zeigen. Beide Zeichnungen geben die Zustände bei dem Eintauchen (beim Nähern) der Magnetpole in die Spiralen; beim Herausziehen (Entfernen) ist die Bewegung der Elektrizität in den Spiralen grade entgegengesetzt. Die zweite Zeichnung gibt natürlich auch den Zustand an, wie er nach einer halben Drehung des Magneten der ersten sich herausstellt. In der ersten Stellung des Magneten geht die positive Bewegung von a nach c, in der zweiten aber von c nach a.

Bei Anwendung von Hufeisenmagneten und von Eisenkernen in den Spiralen läßt sich in diesen sehr leicht eine Stromumkehrung hervorbringen, nämlich dadurch, daß man entweder den Hufeisenmagnet oder die Spiralen um eine Axe so dreht, daß die beiden Polfüße dicht an den Eisenkernen der Spiralen sich hinbewegen. Ist nun der Nordpol des Magneten grade an der einen, der Südpol an der anderen Spirale und bringt jener die positivelektrische Bewegung so hervor, daß sie in einer rechts gewundenen Spirale sich bewegt (Fig. 427,5); so wird, wenn der Südpol nach einer halben Drehung bei derselben Spirale angekommen ist, die positive Bewegung eine entgegengesetzte Richtung verfolgen (Fig. 427,7). Grade wenn das erste Viertel der Drehung erfolgt ist, geschieht eine Umkehrung, und wenn das dritte Viertel vollendet ist, geschieht eine zweite Umkehrung der Polarität. Beim Entfernen der Polflächen des Magneten von den Spiralen nimmt in diesen die Stärke der elektrischen Bewegung ab, bei der Annäherung aber zu, so daß nach einer vollendeten ganzen Drehung zwei geringste und zwei höchste Werthe eingetreten sind, letztere aber im entgegengesetzten Sinne.

Man kann nun statt eines Paares von Induktionsrollen zwei oder mehre Paare mit zugehörigen Magneten anwenden und die Enden der Spiralen von allen Rollenpaaren so miteinander verbinden, daß die positiv elektrische Bewegung entweder vom Anfange der ersten Rolle bis zum Ende der letzten den ununterbrochenen Draht in demselben Sinne durchlauft, oder daß die gleich gerichteten Bewegungen der einzelnen Rollenpaare zusammenfallen. Wenn nun die Drehungen durch geeignete Vorrichtungen sehr schnell gemacht werden, so kann man mit dergleichen magnetoelektrischen Rotationsmaschinen entweder ununterbrochen abwechselnde elektrische Bewegungen nach entgegengesetzten Richtungen erhalten oder man kann durch Einschaltung eines Stromwenders, welcher

bei jeder halben Drehung in Thätigkeit tritt, einen Strom bekommen, der nur nach einer Richtung geht.

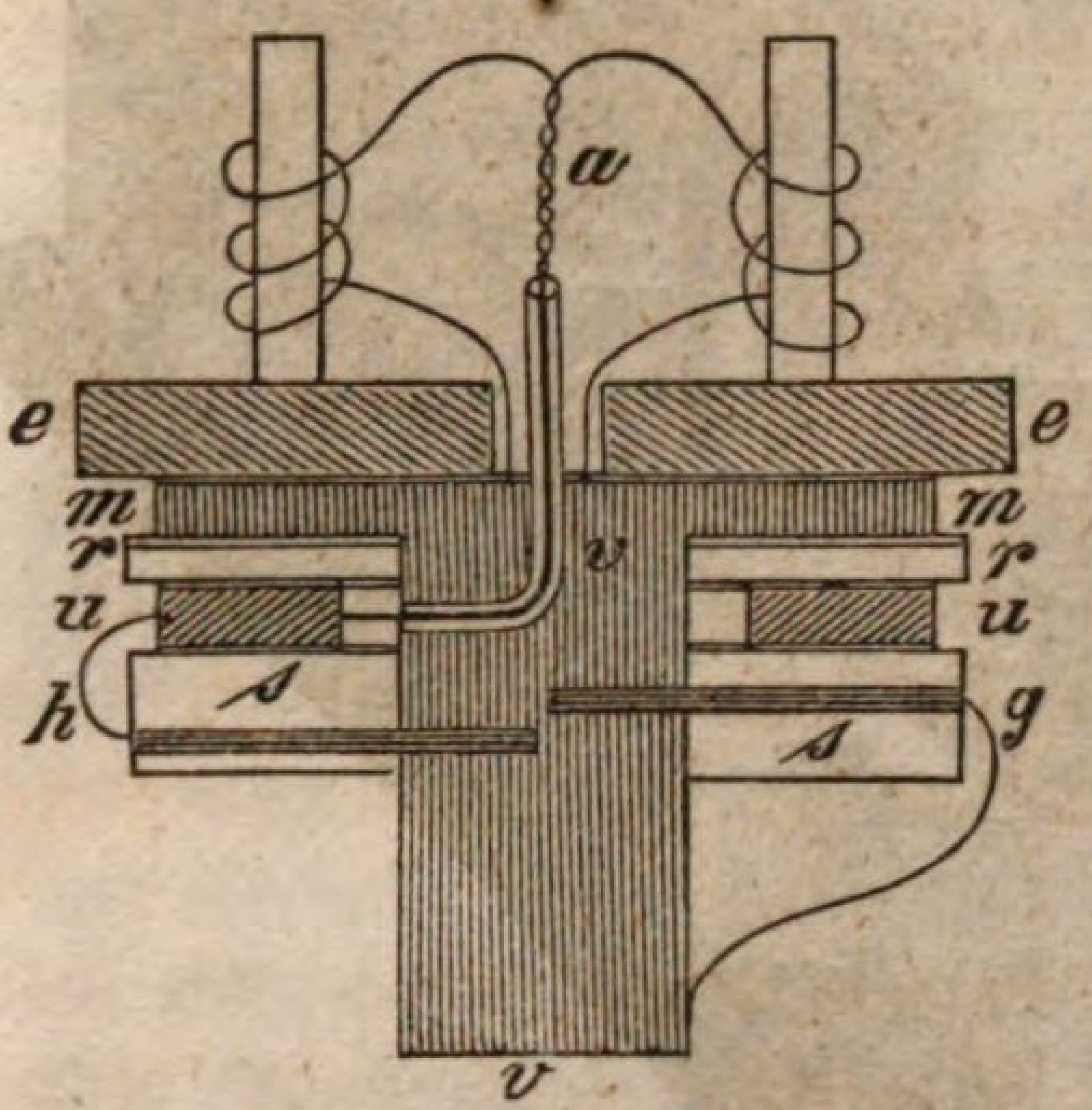


(Fig. 430.)

Fig. 430 stellt eine einfache Maschine dieser Art dar. A und B sind die beiden Drahtrollen mit entgegengesetzten Windungen, über ihnen befinden sich die beiden Polenden eines aus 5 Lamellen bestehenden Magneten, der seine Kraft vorzüglich in der untersten etwas hervorragenden Lamelle äußert und auf einem Schlitten den Rollen mehr oder weniger genähert werden kann. Die Eisenkerne der beiden Rollen sind auf der von den Magneten abgewendeten, also hier auf der unteren Seite durch einen Anker aus weichem Eisen verbunden. Dieser trägt in seiner Mitte die messingene Drehungsaxe für die beiden Rollen, welche durch eine Schwungmaschine (Bd. I., S. 512) in Bewegung gesetzt wird. Die Axe trägt noch den Stromwender gh und an diesem schleifen sich bei der Drehung vier an zwei Seitenständern stellbar befestigte Metallfedern. An den Ständern sind noch mittelst Klemmschrauben zwei Leitungsdrähte angebracht, an denen sich hier zwei zylindrische Halter L und R von Metall mit kleinen Kugeln an dem einem Ende befinden.

Die Magnete könnten auch in lothrechter Lage über oder unter den Rollen angebracht sein oder die Rollen, sowie die Magnete können horizontal liegen.

Auch die Einrichtungen für die Umkehrung der Stromrichtung können verschieden sein. Bei dieser Maschine mit zwei Rollen muß nach jeder halben Drehung derselben und wenn sich jede in gleicher Entfernung von den Magnetpolen befindet, die Umkehrung vollführen.



(Fig. 431.)

Fig. 431 stellt skizzirt den Längenschnitt eines Stromwenders für diesen Zweck dar. ee ist die an den Eisenkernen befestigte Eisenplatte, damit ist eine Messingscheibe mm verbunden, woran sich die Messingaxe vv befindet; diese trägt zunächst den isolirenden Holzring rr, dann einen Messingring uu, welcher durch eine Holzfütterung von der Axe vv und durch rr auch von mm isolirt ist, und dann noch eine Holzscheibe ss, in welche zwei einander entgegenliegende und von einander isolirte stählerne Halbringe g und h eingelassen sind; g ist in metallischer Verbindung mit der Axe vv und h mit dem Metallringe u, nicht aber mit der Axe v. Von den Spiralen sind nur die einen beiden Drahtenden c an die Axe vv gelöthet, die anderen beiden a gehen isolirt (in einem Glasröhrchen) durch die Platte ee und die Scheibe mm in der ausgehöhlten Axe fort bis zum Metallringe uu. Also die von c ausgehenden Drahtenden stehen mit dem Halbringe g und die von a ausgehenden mit dem Halbringe h in leitender Verbindung, so daß g und h abwechselnd die entgegengesetzten Pole des Apparates werden, wenn man die Spiralen an der Axe vv dreht.

Will man diesen abwechselnd entgegengesetzten Strömen nach außenhin eine gleiche Richtung ertheilen, so muß man auf jeden der Halbringe g und h eine isolirte Metallfeder schleifen lassen. Wird gedreht, so gleitet nach jeder halben Umdrehung eine jede der Federn von dem einen Halbringe auf den anderen und da auch mit jeder halben Drehung die Polarität der beiden Ringe sich umkehrt, so bleibt die Polarität der Federn dieselbe, wenn nur die Umkehrung in dem richtigen Augenblicke geschieht, nämlich bei einer Entfernung der Spiralen von den Magnetpolen um 90°. Steht nun mit den beiden Federn ein Leitungsdraht in Verbindung, so ist die Stromrichtung in ihm eine stets gleichgerichtete.

Man hat auch Maschinen gebaut mit zwei Hufeisenmagneten und vier Spiralen oder mit drei Magneten und sechs Spiralen, wobei nicht

nur die Polenden aller Magnete, sondern auch die einen Enden aller Spiralen so in Kreisperipherien liegen müssen, daß bei der Drehung diese dicht an jenen vorübergehen müssen. In jenem Falle hat man einen Stromwender mit 8 Stahlringen, von denen jeder ein Viertel der Peripherie einnimmt; in diesem Fall 12 bogenförmige Stahlringe von $\frac{1}{6}$ Peripherie. Die Verbindung der Drahtenden kann auf verschiedene Weise geschehen: paarweise oder der Draht aller Spiralen zu einem einzigen. Im letzten Falle erhält man die größte Spannung.

Zu den sogen. Quantitätserscheinungen mit großer Hauptschwingung (vergl. S. 339, 349), durch welche vorzüglich Wärme und Magnetismus erzeugt wird, sind kurze dicke Spiraldrähte mit gleicher Stromrichtung in den Spiralen; zu den Intensitätserscheinungen (vergl. S. 339) mit einer großen Schwingungszahl der Nebenschwingung für die chemischen und physiologischen Wirkungen sind dagegen lange dünne Drähte in vielen Windungen erforderlich. Diese Wirkungen sind noch vorzüglich von der Schnelligkeit der Drehung abhängig. Die größte elektrische Spannung ist vorhanden, wenn der Draht aller Spiralen zu einem einzigen verbunden ist.

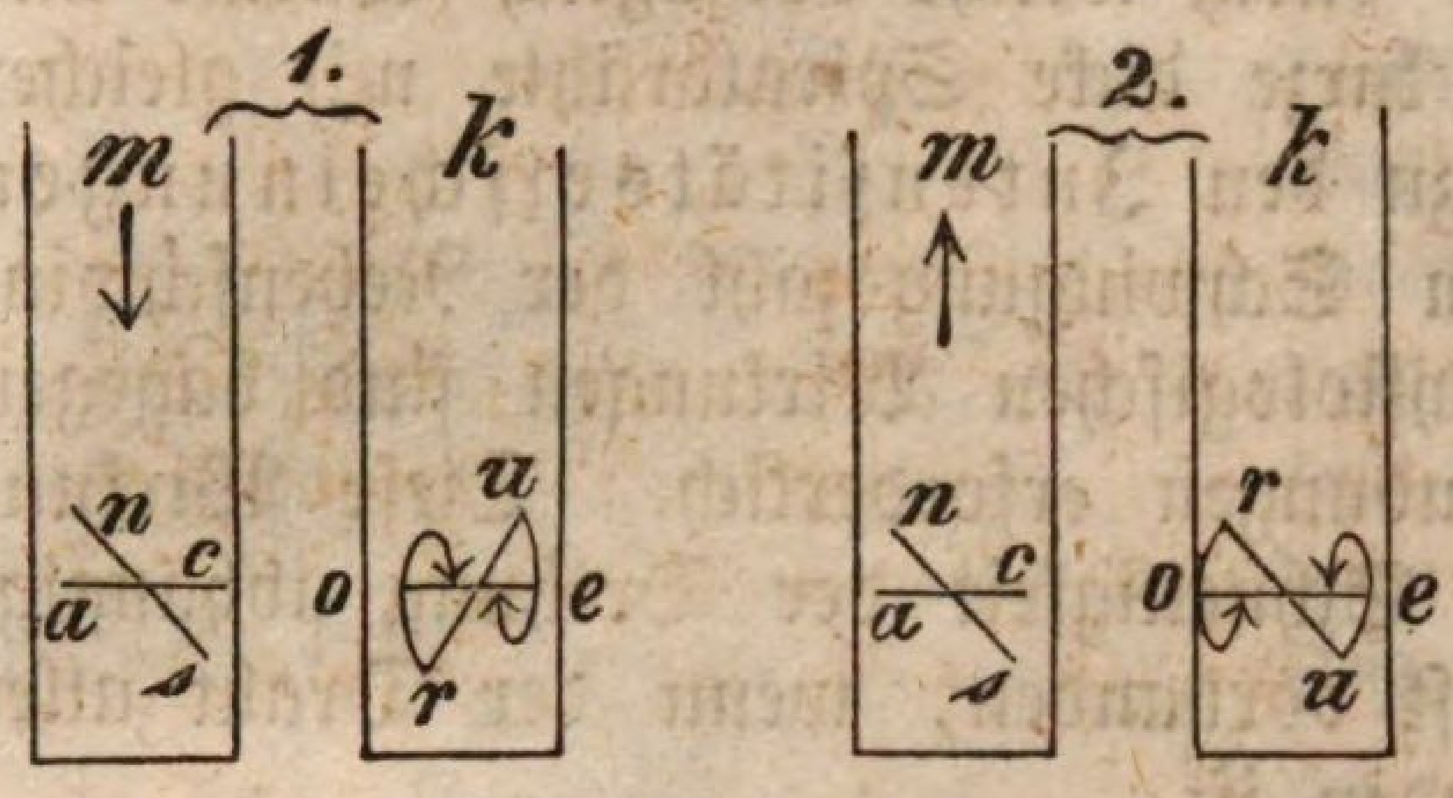
Mit kräftigen magnetoelektrischen Rotationsmaschinen, wie mit denen, welche drei starke Hufeisenmagnete enthalten, kann man bedeutende Wirkungen hervorbringen: wird der Leitungsdraht unterbrochen, so ist der entstandene Funken mit einem starken Knalle verbunden; von den Stahlfedern des Stromunterbrechers sprühen 8 bis 10 Zoll weit glühende Eisentheilchen, welche Weingeist sofort anzünden; ein eingeschalteter Platindraht von 12 Millimeter Länge und $\frac{1}{4}$ Millimeter Dicke wird sofort weißglühend, Lindenkohle gibt ein Licht, welches ein großes Zimmer vollständig erleuchtet; in zwei Minuten erhält man einen Kubikzoll Knallgas; die Erschütterungen des Körpers sind selbst beim langsamen Drehen fast unerträglich und würden beim schnellen höchst gefährlich werden.

Die Stahlmagnete können auch durch Elektromagnete ersetzt werden, welche man durch einfache galvanische Ketten in Thätigkeit versetzt. Auch die Magnetoelektrizität kann man zur Induktion verwenden und so eine große Menge von Erscheinungen zwischen Magnetismus und Elektrizität aus verschiedenen Quellen hervorbringen, welche aber alle wesentlich auf denselben Grundlagen beruhen, wie wir sie bei der Volta-Induktion (S. 341) angeführt haben.

Die Theorie der magnetoelektrischen Induktion würde nach meiner Ansicht nun folgende sein.

Wie wir bereits wissen, liegt in allen Körpern das Bestreben einander zu gleichgerichteten Bewegungen anzuregen, so wie das Bestreben der Anziehung bei bereits vorhandenen gleichgerichteten Bewegungen. Wenn eine um ihren Mittelpunkt leicht drehbare kreisförmige Kupferscheibe durch eine Glasscheibe völlig abgeschieden ist von einem kräftigen

Stabmagneten, welcher auch um seinen lothrecht darüber liegenden Mittelpunkt drehbar ist, und man bringt das Eine von beiden in schnelle Drehung, so setzt sich auch das Andere in derselben Richtung in Bewegung. Es wird durch den Magneten im Kupfer eine elektrische Spannung mit derselben Schwingungsrichtung angeregt, wodurch eine Anziehung eingeleitet ist, welche macht, daß das Eine dem Anderen bei seiner Bewegung folgt, selbst wenn wie hier durch Glas und Luft eine Trennung vorhanden ist. Der eigentliche Vorgang für den vorliegenden Fall ist nun folgender.



(Fig. 432.)

In Fig. 432 ist m ein Magnetstab, k ein nebenan befindlicher Theil eines in sich geschlossenen Kupferdrahtes, ac ist die natürliche Gleichgewichtslage eines Stahlmolekels, ns seine feste magnetische Schwingungslage, oe die Lage eines Molekels im Kupferdrahte. Wird der Magnet in der Richtung des im ersten Falle auf ihm gezeichneten Pfeiles am Kupferdrahte hinbewegt, so führt das magnetische Molekel ns das Molekel oe des Kupferdrahtes mit sich fort in die Lage ru, wobei s auf o bewegend wirkt. Sowie aber der Magnet dann ruht, so geht ru sofort mit drei Viertel Schwingung in seine ursprüngliche Gleichgewichtslage oe zurück, nicht aber noch darüber hinaus, weil es die rückwärtsliegenden Molekel verhindern. Es ist ähnlich wie bei einem Knalle in der Luft, wobei jedes Lufttheilchen auch nur kaum etwas mehr als drei Viertel einer Schwingung macht, gleichgiltig ob die erste Verdichtung im Mittelpunkte (Verschwinden einer Dampfblase im Wasser) oder um den Mittelpunkt (Abbrennen von Pulver) stattfindet. Die von r und u ausgehenden Bogen mit den Pfeilen geben diese drei Viertel der Schwingung an. Das Kupfer ist wegen der Anordnung seiner Molekel nicht imstande, die durch den Magneten hervorgebrachte Schwingungslage ru festzuhalten oder es fehlt ihm die dazu nothwendige Koerzitivkraft.

Weil nun bei diesen drei Vierteln der Schwingung die ersten zwei Viertel eine andere Richtung haben, als das letzte Viertel, so ist das Resultat eine einseitige Schwingung mit entgegengesetzter Richtung von der, welche durch die Spannungslage des Magneten angezeigt wird. Weil also im Kupfer eine wirkliche lebendige Schwingung erregt wird, sagt man: der Magnetismus induzirt im Kupfer bei der Annäherung einen elektrischen Strom von entgegengesetzter Richtung.

Bleibt der Magnet in Ruhe, so behalten auch alle Molekel des

Kupferdrahtes ihre Ruhelage und es fehlt jede Erscheinung in diesem. Wenn man den Magneten aber, wie es der zweite Fall der Figur durch den Pfeil auf dem Magneten andeutet, von dem Kupferdrahte entfernt oder in der entgegengesetzten Richtung bewegt; so wird das Molekel oe des Kupferdrahtes in die Lage ru geführt und muß dann auch wieder drei Viertel einer Schwingung machen, ehe es in seine alte Lage bleibend zurückkehrt. Auch hier ist die Schwingung eine elektrische, aber der vorigen elektrischen entgegengesetzt, wie es ein Blick auf die Figur zeigt, also sagt man mit Recht: der Magnetismus induzirt im Kupfer bei dem Entfernen von ihm einen elektrischen Strom von gleicher Richtung mit der seiner eigenen Schwingung.

Daß die Stärke des induzirten oder erregten elektrischen Stromes von der Kraft des Magneten, von der Entfernung, Lage und Beschaffenheit des Kupferdrahtes abhängt, ist wohl selbstverständlich. Um aber die Molekularbewegung im Kupferdrahte möglich zu machen, muß derselbe ein in sich geschlossenes Ganzes bilden, weil sonst die Fortpflanzung der ganzen Bewegung unmöglich ist.

Diese Betrachtungen sind also in der That wesentlich übereinstimmend mit denen der Volta- oder elektroelektrischen Induktion, so daß in den mannigfaltigsten Erscheinungen dieselben Grundursachen vorwalten, welche höchst einfacher Natur sind.

Schlüßlich wollen wir in dem Kreise der hierher gehörigen Betrachtungen noch anführen, daß das jetzt allerdings ausführbar ist, was jenem Franzosen, welcher die erste Idee zum Telegraphiren mittelst zweier sehr entfernter Magnete (in Rom und in Paris, vergl. S. 426) angab, unmöglich schien. Das Band zwischen den an beiden Orten aufzustellenden Magnetnadeln ist freilich nicht ein bestimmter Magneteisenstein, mit welchem beide Nadeln zu streichen wären, sondern ein Kupferdraht. Die Magnetnadeln oder kräftige Magnetstäbe müßten an beiden Orten zwischen die Drahtwindungen zweier gleichgewundenen Multiplikatoren aufgestellt und die Drahtenden beider so miteinander verbunden werden, daß ein Draht ohne Ende entstände. Würde nun willkürlich z. B. der Nordpol der einen Nadel nach Westen oder nach Osten bewegt, so würde der Nordpol der anderen sich unwillkürlich nach derselben Richtung bewegen; denn durch die Bewegung der ersten Nadel wird im Leitungsdrahte ein elektrischer Strom induzirt, welcher die zweite Nadel zu derselben Ablenkung zwingt. Durch einfaches und wiederholtes Bewegen einer oder mehrer Nadeln nach den beiden Richtungen ließen sich allerdings eine hinreichende Menge von Zeichen darstellen, aber einerseits würde der Leitungswiderstand bald zu groß werden, andererseits aber das Telegraphiren zu langsam vonstatten gehen.

Wenn wir die über das Wesen des Magnetismus und der Elektrizität bisher aufgestellten und, wie ich glaube, durch die Thatsachen

hinreichend bewiesenen Ansichten kurz zusammenfassen wollen; so können wir die Behauptung aufstellen:

> der sogenannte elektrische Strom ist in Bewegung begriffener Magnetismus, und Magnetismus ist in der Spannungslage zur Ruhe gebrachte Elektrizität.

Ich meine, daß alle, auch noch so verwickelt erscheinenden Thatsachen sich auf diesen einfachen Gesichtspunkt zurückführen lassen. Wir wollen nur noch ein Beispiel aus den Geheimnissen der Natur davon anführen, nämlich wie der Erdmagnetismus einen elektrischen Strom erregt. Bringt man eine etwa 5 bis 6 Fuß lange Stange aus recht weichem Eisen in die Richtung der magnetischen Neigung (Inklination), so nehmen die Molekel des Eisens sofort die magnetische Schwingungslage an und verharren darin so lange, als der Stab, welcher jetzt magnetisch ist, festgehalten wird. Hörte der Magnetismus plötzlich auf, so würde jedes Molekel drei Viertel Schwingungen machen müssen, um in seine alte Gleichgewichtslage zurückzukehren. Bei rascher Umkehrung der Stange in der Ebene des magnetischen Meridians ist ihm aber nur gestattet davon die ersten zwei Viertel zu machen und es wird dabei durch den neuen Einfluß des Erdmagnetismus genöthigt, noch etwas darüber hinaus zu gehen, ehe es sich in der neuen Lage festsetzen kann und daher macht jedes Molekel eine einzelne Nebenschwingung um die neue magnetische Lage, also außerhalb der unmagnetischen Gleichgewichtslage, d. h. es zeigt einen momentanen elektrischen Strom. Durch eine sehr rasche Drehung der Eisenstange in der Ebene des magnetischen Meridians wird daher ein anhaltender Strom in ihr erregt, welcher in einer um sie gewundenen isolirten Kupferdrahtspirale einen neuen Strom erregt, durch welchen man alle Erscheinungen der Elektrizität erhalten kann, namentlich auch den elektrischen Funken, so daß

2) der Magnetismus auch eine Quelle des Lichtes ist,

wenn er es auch in diesem Falle nicht unmittelbar hervorbringt. Aber er wirkt auch unmittelbar auf das Licht ein, was in Betreff der Natur aller hierher gehörigen Erscheinungen sehr wichtig ist.

Wir wissen aus den Polarisationserscheinungen der strahlenden Wärme und des Lichtes, daß der Weltäther gezwungen werden kann, nur in einer einzigen Ebene zu schwingen. Es läßt sich praktisch nachweisen,

> daß diese Lichtschwingungen durch den Magnetismus in derselben Richtung gedreht werden, in welcher beim Magneten die Schwingungen stattfinden, daß also der Weltäther an allen Bewegungen der irdischen Körper, und wenn sie auch nur Atombewegungen sind, theilnimmt und daß er der Grund ist

für die wunderbare Wirkung auf die Entfernung, auch wenn ein irdischer Körper dieselbe nicht vermittelt.

Um die Drehung der Polarisationsebene des Lichtes wahrzunehmen, kann man einen hohlen Zylinder von weichem Eisen (Eisenblech) auf elektromagnetischem Wege magnetisch machen, das Licht durch verschiedene Flüssigkeiten (Alkohol, Wasser, Zuckerlösungen, Oele, Aether, Salzlösungen u. s. w.) gehen lassen, welche in Glasröhren mit genau parallelen Verschlußplatten enthalten sind und in den Eisenzylinder gesteckt werden. Sowie die Stromrichtung geändert wird, verändert sich auch die Drehungsebene des Lichtes.

Diese Versuche können dadurch abgeändert werden, daß man an die beiden Pole eines kräftigen Hufeisenmagneten, namentlich eines Elektromagneten, zwei durchbohrte eiserne Halbanker in einiger Entfernung von einander so legt, daß die beiden Oeffnungen in einer graden Richtung liegen und man durch einen zwischen die Halbanker gebrachten Körper sehen kann.

Wenn ein Lichtstrahl der magnetischen Kraft zu gehorchen scheint, so gehorcht er in Wirklichkeit der Atombewegung des von ihm durchdrungenen Körpers und diese Bewegung selbst steht unter der Botmäßigkeit des Magnetismus. Wenn also der Weltäther der magnetischen Richtkraft schon folgt, obwohl er noch an einem irdischen Körper gefesselt ist, so muß er im leeren Raume ihr noch mehr unterworfen sein und in der That läßt sich das zwischen den zwei elekrischen Polen im leeren Raume (elektrischen Eie) vorhandene geschichtete Licht durch einen Magneten in seiner Nähe ablenken, ohne daß es sonst eine Veränderung erleidet. — Wenn eine Lichtflamme zwischen den stumpf zugerundeten Polfüßen eines kräftigen Magneten seitwärts geblasen wird, so möchte hierbei der elektrische Zustand der Flamme nicht ohne Einfluß sein; jedenfalls aber zeigt auch diese Erscheinung die Theilnahme des Weltäthers an der Bewegung der irdischen Körper und die Hervorrufung letzterer durch ersteren.

Die Polarlichter. Der Einfluß des Magnetismus auf das Licht, namentlich auf das elektrische, führt uns zu einer ebenso prachtvollen, als ihrem Wesen nach räthselhaften Naturerscheinung, nämlich der des Nordlichtes oder eigentlich der Polarlichter, denn sie gehören beiden Polargegenden der Erde an. Es gibt eine so ungemein große Anzahl von Beschreibungen der Erscheinung und in diesen selbst so verschiedenartige Angaben, daß es nicht leicht ist, sich ein umfassendes Bild davon zu machen. Zu bedauern ist, daß in den wenigsten Fällen auf andere meteorologische Instrumente, als auf die Magnetnadel, eine Rücksicht genommen worden ist. Daher ist es auch gekommen, daß man zur Erklärung entweder die verschiedenartigsten Hypothesen angenommen oder sich offen gestanden hat; die Erscheinung ist räthselhaft. Da ich in der glücklichen Lage gewesen bin, sowohl in Europa, als

auch in Nordamerika einige, wie mir scheint, entscheidende Beobachtungen zu machen und dabei zum Theil die meteorologischen Instrumente zu fragen; so will ich nach der Betrachtung der Erscheinung schlüßlich die schon vor etwa 10 Jahren von mir aufgestellte Theorie angeben.

Das Phänomen zeigt sich nicht stets in seiner vollen Pracht, sondern entweder nur als heller Nordschein am nördlichen Horizonte, oder als weißer Lichtnebel in größerer Höhe, oder als feuerrothe Wolke in nicht großer Entfernung über der Erdoberfläche und bildet dann den Uebergang zu den gewöhnlichen Gewittern, mit denen in Verbindung es zuweilen auftritt.

Der Nordschein ist mit dem früher (S. 307) erwähnten Horizontlichte zu vergleichen, nur daß er eine größere Beständigkeit besitzt und mehr nach Norden seinen Sitz hat Er zeigt ein weißliches Licht mit wechselnder Stärke und währet oft bis tief in die Nacht hinein. Manche Beobachter meinen, beim Anblicke eines Nordscheines ein starkes Wetterleuchten bei heiterem Himmel wahrgenommen zu haben; aber das eigentliche Wetterleuchten rührt stets von einem Gewitter her, welches so weit entfernt ist, daß man den Donner nicht mehr hören kann, während der Nordschein in der That bei heiterem Himmel sichtbar ist und in ähnlicher Weise den Uebergang von den Horizontlichtern zu den Nordlichtern bildet, wie die leuchtenden Wolken ihn von diesen zu den Gewittern herstellen. Es entstehen Temperaturunterschiede an der Erdoberfläche und daher elektrische Erscheinungen nicht nur beim Sonnenauf- und Untergange im Osten und Westen, sondern auch nach dem Untergange der Sonne im Norden. Der Unterschied ist nur, daß in jenem Falle, in welchem die Horizontlichte erscheinen, vollkommene Windstille herrschen kann, daß aber in diesem Falle, nämlich bei den Nordscheinen, eine, wenn auch sanfte Luftströmung vorhanden ist, welche durch die größere Erwärmung südlicher gelegenen Gegenden bedingt und durch die Axendrehung der Erde befördert wird. Dem Nordscheine mit seinem phosphoreszirenden und pausenweise erscheinenden Glimmlichte fehlt oft ein Wolkenstreifen, weil die Dünste der kalten Luft in der warmen aufgelöst werden und man kann bei einem vorhandenen wahrnehmen, wie er der fortschreitenden Luft folgt. In einem Falle habe ich ihn im Norden bei bedecktem Himmel durch Wolkenspalten und in einem anderen Falle im Nordwesten über dem durch die Ostsee begränzten Horizonte beobachtet

Die Polarlichter sind entweder Nordlichter oder Südlichter, jenachdem sie sich am nördlichen oder südlichen Himmel zeigen; diese sind matter und seltener, als jene.

Bei den Nordlichtern zeigt sich in den meisten Fällen und bisweilen schon vor dem Beginne der Erscheinung bei unbewölktem Himmel im Norden eine dunkle, ziemlich bestimmt begränzte und oben abgerundete Stelle in Gestalt eines Kreisabschnittes, durch welche die Sterne

erkannt werden; darunter bildet sich ein Lichtbogen aus, bisweilen aber auch zwei oder drei, durch deren Zwischenräume man die dunkle, einer Schichtwolke ähnliche Stelle erkennt. Aus dem Lichtbogen, bisweilen aus der dunklen Stelle, steigen Lichtstreifen empor, welche ziemlich scharf begränzt sind, abwechselnd entstehen und vergehen, ihren Ort bald langsam, bald schnell verändern und Strahlen bis zu bedeutender Höhe aussenden, so daß die ganze Lichterscheinung in einer fortwährenden Bewegung ist. Am 2. September 1859 war zu Boston morgens 1 Uhr ein so helles Nordlicht, daß man gewöhnliche Druckschrift dabei lesen konnte; in den meisten Fällen ist aber die Lichtstärke geringer und so, daß man dahinter noch die Sterne erster und zweiter Größe erkennen kann. Die Helligkeit ist bei den am meisten nach Norden erscheinenden nicht die größte. Die Strahlen sind kleine miteinander parallel laufende, meist scharf begränzte und in der Richtung der Neigungsnadel nach der Erde gekehrte Lichtpinsel. Die schnell ausfahrenden Lichtblitze scheinen der Erde näher kommende und daher sich größer zeigende Strahlen zu sein, welche selten bis nach der Erdoberfläche schießen und ebenso plötzlich verschwinden, als sie erscheinen. Bei völlig ausgebildeten Nordlichtern, welche bisweilen den ganzen Himmel mit reinem flockigen, zitternden Lichte erfüllen, vereinigen sich die nach oben zusammenlaufenden Strahlen im Scheitelpunkte zu der sogen. **Krone** und bilden gewissermaßen die Laterne eines Kuppelgewölbes. Bei ihrer Entstehung sind die Farben des Nordlichtes am lebhaftesten: im Bogen zeigt sich ein blendendes Weiß, dann ist in den unruhigen Theilen ein Uebergang zu Gelb und vorzüglich zu Roth, welches sich in der verschiedensten Tiefe zeigt, oft als Purpurroth, auch Violett und Grün fehlen nicht; die Lichter sind theils stehend und verlöschen ohne Farbenveränderung an ihrem Standpunkte, theils wogend und herumziehend, indem sie sich wie nach dem Winde biegen und wellenförmig krümmen.

Bisweilen erscheinen wolkenähnliche erhellte Flocken mit wechselnder Stellung; nicht selten ziehen mehre Lichtnebel, oft in feuerrother und bleibender Färbung, wie ein leuchtender Rauch übereinander hin, theils über dichterem Gewölk, theils unter zarten Wolken. Die leuchtenden Strahlen sind von den feuerrothen abgesonderten Wolken zu unterscheiden, die bisweilen, vom Winde bewegt, am Himmel herumziehen, manchmal aber auch stehen bleiben und am Entstehungsorte verlöschen.

Was nun die örtliche Verbreitung der Nordlichter anlangt, so können wir im Allgemeinen bemerken, daß sie vorzüglich da erscheinen, wo es an Gewittern fehlt oder wo dieselben sich ohne Blitz und Donner entladen, jedoch beginnen sie im Mittel schon bei 45° Breite sich zu zeigen, werden mit zunehmender Breite oder Polhöhe häufiger und sind in der Nähe der Polarkreise fast jede Nacht, in welcher es dunkel genug ist, wahrzunehmen. In Asien und Europa sind sie bis zu 50° Breite ziemlich selten, in Amerika aber reichen sie bis zu 40 Graden

und sind in der Breite von New-York ziemlich häufig. Zu Society-Hill in 34° 35′ nördlicher Breite hat man ein Polarlicht noch südlich davon, zu Culloden in 32° 45′ nördlicher Breite dasselbe blos nördlich gesehen. Es war auch in England sichtbar. In den Tropen erscheinen gar keine; ihr Hauptsitz ist in den Magnetpolen der Erde und hier steht die Krone im Zenith des Beobachters. Im hohen Norden scheint das Licht den ganzen Himmel einzunehmen und verbreitet sich nach allen Richtungen; einem davon weit entfernten Beobachter erscheint es aber nur am nördlichen Horizonte. Am 9. Januar 1831 war ein Nordlicht von Madrid bis tief nach Sibirien sichtbar und nahm fast den ganzen Himmel ein. Auch auf dem atlantischen Ozeane sind Nordlichter beobachtet worden. In Port Bowen bei 73° 13′ n. Br. erscheint das Nordlicht schon südlich. Im Allgemeinen bilden die Magnetpole der Erde die nördliche Gränze der Nordlichter.

Obwohl es schwierig, ja nicht möglich ist, die absolute Höhe der Nordlichter über der Erdoberfläche zu bestimmen, so kann man doch behaupten, daß sie unter niederen Breiten eine größere Höhe besitzen, als unter höheren; doch dürfte ihre mittlere Entfernung kaum mehr als 15 Meilen betragen. Die Erscheinung ist eine zur Erde gehörige (terrestrische), nicht eine dem Weltraume außerhalb des Wirkungskreises der Erde zukommende (kosmische).

Eine bestimmte periodische Wiederkehr der Polarlichter ist wohl nicht vorhanden. In manchen Jahren ist ihre Anzahl selbst in geringeren Breiten sehr bedeutend. So hat man z. B. im Jahre 1734 zu Berlin 53 Nordlichter gesehen. Die Anzahl der eigentlichen Südlichter, nicht derjenigen, welche in der nördlichen Halbkugel einem Beobachter südlich erscheinen, ist jedenfalls bedeutend geringer, als die der eigentlichen Nordlichter und überdies sind sie niemals so herrlich ausgebildet.

In Beziehung auf die Weltgegenden, in denen die Polarlichter erscheinen, ist zu bemerken, daß die Mehrzahl das dunkle Segment mit dem Lichtbogen und die ganze Mittellinie der Erscheinung, namentlich die Krone, im magnetischen Meridian haben und in dieser Richtung auch die aufsteigenden Strahlen zeigen, daß aber auch manche und namentlich die weniger ausgebildeten sich an diese Richtung gar nicht kehren, ja sogar eine ostwestliche befolgen.

In dieser Beziehung ist das unter 58° 30′ n. Br. und 44° 30′ w. L. am 24. September 1824 vom Kapitain Parry beobachtete Licht bemerkenswerth. Es erschien zuerst abends 8 Uhr als schwefelgelbes Licht im Osten ungefähr 3° über dem Horizonte; nach einer Stunde bildete es einen durch das Zenith nach Westen gehenden Bogen. Bald darauf schienen die Strahlen nicht mehr vom östlichen, sondern vom westlichen Punkte etwa 1° über dem Horizonte auszugehen, über das Zenith nach dem ersten Punkte im Osten wie ein leuchtender Rauch mit großer Schnelligkeit sich zu bewegen. Das Licht war im Ganzen gelb,

doch auch orange und grünlich gefärbt und so stark wie das des Vollmondes. Der Himmel unterhalb der lichten Stelle glich einer dichten Wolke.

Eines der schönsten in mittlerer Breite wahrgenommenen Nordlichter war das vom 7. Januar 1831. Nach einer zu Kolberg angestellten Beobachtung zeigten sich nach 5 ½ Uhr genau am nordöstlichen und nordwestlichen Horizonte zwei röthliche Wolkenstreifen, welche einander entgegenzogen und kurz vor 6 Uhr einen vollständigen, scheinbar aus dunklen Wolkenmassen bestehenden Kreisabschnitt bildeten, während der einschließende Bogen aber ganz weiß war, nach beiden Seiten hin röthlich, fast rosenroth, dann purpurfarbig und ganz unten durch Violett ins Schwarzblaue überging. Die Lebhaftigkeit der Farben war anfänglich am stärksten und wechselte dann. Aus der Mitte dieses Abschnittes stiegen bisweilen parallele und etwas mattere Lichtstreifen nach dem Zenith, wo sie röthlich waren. Gegen 6 Uhr 30 Minuten erhoben sich fast genau im Westen und Osten zwei blendend weiße niedrige Lichtstreifen, welche doppelt so breit waren, als der Saum des Kreisbogens. Nachdem die Lebhaftigkeit ihres Lichtes wiederholt gewechselt hatte, erhob sich kurz vor 7 Uhr der westliche Streifen mit vollem Glanze nach dem Zenith und darüber hinweg nach dem östlichen Streifen, welcher ihm entgegenkam und sich in etwa 30 Sekunden mit demselben zu einem zweiten bedeutend breiten und glänzend strahlenden Kreisbogen verband. Nach 2 Minuten verschwand der Bogen und der Himmel dunkelte nach und nach bald so, daß 7 ¼ Uhr nichts mehr zu sehen war. — An anderen Orten, wie in Berlin, Gotha, Marburg, Elberfeld, Utrecht, zeigte sich dieses Nordlicht zwar etwas anders und von anderer Dauer, aber überall mit dem dunklen Abschnitte im Norden, dem ihn begränzenden Lichtbogen und zu beiden Seiten in gleicher Entfernung vom magnetischen Norden sich erhebenden Lichtsäulen. — In Upsala erblickte man zwar im Norden einen schwachen Lichtschein, aber die größte Pracht der Erscheinung zeigte sich am südlichen Himmel. — In Kila sah man um 6 ½ Uhr am nördlichen Himmel eine Wolkenkette, von welcher eine Menge Strahlen ausgingen; am südlichen stand zugleich ein dunkler Wolkengrund mit einem leuchtenden Nimbus. Etwas südlich vom Zenith ging durch die Mitte des Himmels vom westlichen zum östlichen Horizonte ein schöner rother Lichtbogen, welcher unten doppelt so breit, als der Regenbogen, oben schmaler war und eine etwas hellere feuergelbliche Krone wie eine matte Sonne zeigte.

Interessant ist auch die Beobachtung von dem Direktor Douai in Hoboken bei New-York, welcher im Herbste 1860 auf der Hochebene bei Kingston N. Y. ein Nordlicht und ein Südlicht zugleich bemerkte, die einander entgegenwuchsen und im Zenith einander begegneten. Jenes war roth, dieses bläulich weiß gefärbt, welches die Farben beziehungsweise der negativen und positiven Elektrizität sind. — Wenn die Licht-

bogen im Norden und im Süden zugleich erscheinen, so treten sie im Mittagskreise einander näher, bei uns aber mit einer etwas westlichen Abweichung.

In Betreff der Zeit ihres Erscheinens ist zu bemerken, daß sie im Sommer selten und in schwülen Nächten nie sich zeigen, wohl aber in kalten Wintern. Das dunkle Segment entsteht bisweilen schon vor Sonnenuntergang, die Lichterscheinung selbst kann aber erst nach Sonnenuntergang wahrgenommen werden und entsteht auch wahrscheinlich erst um diese Zeit; um Mitternacht ist das Phänomen in der Regel schon erloschen. Häufig wiederholen sich die Nordlichter an mehren Abenden hintereinander.

Als eine wichtige, die Polarlichter begleitende Erscheinung ist zunächst die unruhige und zitternde Bewegung der Magnetnadel anzusehen, welche sich selbst bis auf solche Orte erstreckt, an welchen man das Nordlicht gar nicht zu sehen bekommt und welche dem Eintreten des Polarlichtes vorausgeht. — Wenn die Magnetnadel erregt wird, so ist es natürlich, daß auch beim Telegraphiren Störungen eintreten können. Wird es doch bisweilen bei heftigen Gewittern schwierig oder unmöglich auf gewisse und kürzere Strecken hin zu telegraphiren; bei Nordlichtern aber zeigt sich der merkwürdige Umstand, daß man zwar nicht in nordsüdlicher, wohl aber in ostwestlicher Richtung zu telegraphiren vermag. Bei dem schon oben erwähnten, am 2. September 1859 zu Boston beobachteten Nordlichte versagten selbst noch am folgenden Vormittage die von Norden nach Süden gehenden Telegraphendrähte ihren Dienst, während man nach anderen Richtungen telegraphiren konnte. — Eine andere bei starken Nordlichtern von vielen Beobachtern wahrgenommene Erscheinung ist ein eigenthümliches aus kurzen harten Schlägen bestehendes, aber ziemlich unbedeutendes Geräusch, welches sich am besten mit dem beim Reinigen des Getreides durch eine Schwinge entstehenden vergleichen läßt. — Die schönsten Nordlichter bilden sich bei trockener Luft, also großer Psychrometerdifferenz (Bd. II. S. 238) und heiterer Atmosphäre und vermehren selbst noch die Durchsichtigkeit derselben, so daß die natürliche Folge eine größere Ausstrahlung der Erdwärme oder eine größere Kälte ist. Schnee und Regen sind seltnere Folgen, welche von Windrichtungen abhängen. — Das Barometer fiel bei den von mir beobachteten Polarlichtern regelmäßig. Das Licht ist polarisirtes elektrisches, was der Erscheinung vorzüglich den Charakter gibt.

Da in diesem Jahrhunderte in Posen ein schöneres Nordlicht noch nicht gesehen worden, als das, welches ich am 12. Oktober 1859 beobachtet habe, so will ich es hier kurz beschreiben. Der ganze Himmel war wolkenfrei und auch im Norden der Horizont ganz klar. Die Erscheinung begann zwischen 6 und 7 Uhr abends in einer Höhe von etwa 40 Graden und verbreitete sich mehr und mehr nach oben, bis sie end-

lich den Scheitelpunkt erreichte. Dabei hatte sie eine ostwestliche Ausdehnung von etwa 60 Graden und zog sich in ihrem Verlaufe immer mehr nach Westen, indem sie an der Ostseite erlosch und gegen 7 Uhr war nur noch im Westen ein weißlicher Lichtschein mit wechselnder Stärke sichtbar. Die nach dem Scheitelpunkte hin zusammenlaufenden Strahlen waren, indem sie die Richtung größter, auf dem Horizonte senkrechter Kreise von Norden nach Süden verfolgten, feuerroth und verzogen sich bisweilen ins Weiß oder ließen den dunklen Himmelsgrund durchscheinen. Gegen 9 Uhr erschienen auf einige Zeit, von Westnordwest auffsteigend, wieder zwei breite, äußerst lebhaft feuerroth gefärbte Streifen.

Das Barometer stand bei ganz schwachem Ostnordostwinde 27″ 11,23‴ (etwas über das Monatsmittel 27″ 10,76‴), es fiel aber bald und in 24 Stunden um mehr als 3 Linien und stand am 21sten abends 10 Uhr sogar auf 27″ 0,65‴, zum Zeichen der von oben eingebrochenen leichteren Südströmung. Die Lufttemperatur war während des Nordlichtes 7,8° R., der Dunstdruck 2,21‴ und die Prozente der Feuchtigkeit 56, die Luft also ziemlich trocken.

Bei einem anderen von mir beobachteten Nordlichte war der Westwind vom Tage vorher nach dem doveschen Drehungsgesetze über Nord nach Nordnordost gegangen und ungeachtet abends 10 Uhr ein reiner Nordwind herrschte, wobei die Temperatur am trockenen Thermometer bis auf 3,4, am feuchten auf 1,7 zurückgegangen war, fiel das Barometer, zum Zeichen, daß über der unteren Nordströmung ein warmer Luftstrom, der im Norden sank, stattfinden mußte. Im Nordwest bildete sich auch gegen das Ende der Erscheinung aus dem klaren Himmel eine Wolkenwand, welche dieses bestätigte. Weil vorher der Himmel ganz klar war, fehlte diesem Nordlichte die Farbenpracht und es durchzuckte nur in weißen, aber mächtigen Strahlen meist nach dem Zenith hin den Himmel bis auf eine Höhe von 50°, bisweilen auch seitwärts Streifen aussendend.

Bei allen von mir in den Jahren 1858 und 1859 in Posen und 1860 in Amerika beobachteten besser ausgebildeten Nordlichtern war die Luft heiter und trocken (eine große Psychrometerdifferenz) und das Barometer fiel, ungeachtet an der Erdoberfläche eine nördliche und kältere Luftströmung herrschte, welches ein deutlicher Beweis davon ist, daß oberhalb ein warmer und leichterer Strom eindrang. Wenn sich dabei an dem sonst klaren Himmel durch die langsam vor sich gehende Vermischung der beiden Luftschichten von verschiedener Temperatur ein Wolkenstreifen bildete, so hatte er eine ostwestliche Richtung und rückte nach Norden fort.

Was nun die theoretische Auffassung der Polarlichter anlangt, so hat schon Alexander von Humboldt sie zwar *magnetische Gewitter*, d. h. auf den Erdmagnetismus wirkende elektrische Erscheinungen ge-

nannt, ist aber auf die nähere Begründung und Entwickelung dieser Behauptung nicht eingegangen. Um meine Ansicht kurz zusammenzufassen, möchte ich sagen:

> die Polarlichter sind ein elektrisches Glimmlicht in höheren Schichten der Atmosphäre, welches das Resultat der Abgleichung der Thermoelektrizität an der Erdoberfläche mit der Elektrizität ist, welche in größerer Höhe durch eine doppelte, weit ausgedehnte und sanfte Strömung zweier ziemlich trockenen Luftschichten von verschiedener Temperatur entsteht.

Wenn wir den Ort der Polarlichter, die Zeit ihres Erscheinens, die Richtung der dabei stattfindenden Luftströmungen, den Feuchtigkeitszustand, den Druck der Atmosphäre, die Schwankungen der Magnetnadel, sowie die ähnliche Erscheinung der Nordscheine, Streifenlichter, Lichtnebel, und endlich ihren Zusammenhang mit den Gewittern berücksichtigen, so dürfte obige Behauptung wohl als unzweifelhaft erkannt werden.

Die Region der Nordlichter wird in Beziehung auf die geographische Breite im Laufe des Jahres durch den Stand der Sonne gegen die Erde bedingt und für einen bestimmten Ort bei zunehmender Wärme mehr nach den Polen verlegt, bei zunehmender Kälte aber dem Aequator genähert, so daß wir im Winter öfterer Polarlichter sehen, als im Sommer. In Beziehung auf die südliche Gränze der Nordpolarlichter unterscheidet sich die alte Welt deshalb von Amerika, weil dort die Zerrissenheit und die mehr nördliche Lage der Ländermassen eine so durchgreifende und weit reichende Luftströmung in Meridianrichtung nicht gestattet, so daß also die Polarlichter dort nicht so weit nach Süden herabreichen, als hier. Es ist daher natürlich, daß wir in mittlerer Breite gut ausgebildete Polarlichter selten in der wärmeren Jahreszeit und nur dann wahrnehmen, wenn sehr lange nördliche und südliche Luftströmungen stattgefunden haben, wie es in Posen z. B. während des Maies 1858 und der Monate August und September 1859 der Fall war.

Die in diesen beiden Jahren so häufig und sorgfältig von mir beobachteten Nordscheine und Nordlichter zeigten eine auffällige Abhängigkeit von der Windrichtung, denn jene hatten ihren Hauptsitz jedesmal nur in der Richtung, aus welcher der Wind kam, nie an einer anderen Seite des Horizontes. Die Gegend erstreckte sich vom Norden bis zum Osten, und in einigen Fällen sogar etwas darüber hinaus, indem der Nordwind wegen der Axendrehung der Erde mehr und mehr zu einem östlichen wird, je weiter nnd je schneller er nach Süden geht. Im August und September 1859 waren die Luftströme vorherrschend südliche, aber wegen der Erdrotation im August im Mittel westsüdwestliche, im September etwas über Südwest hinaus. Die Anzahl der Nord-

lichter war eine selten so große, als in diesen beiden Monaten und noch im Oktober.

Daß die Südpolarlichter, welche man an der Südspitze Amerikas noch am meisten erblickt, weder so häufig, noch so schön ausgebildet sind, hat seinen Grund darin, daß wegen des Mangels an größeren Ländermassen bedeutendere Temperaturunterschiede und über einander in weiten Ausdehnungen herrschende Strömungen in der Atmosphäre nicht vorkommen können; außerdem aber ist die Luft wegen des Meeres allzufeucht, um die Elektrizität zu isoliren und in höheren Luftschichten zur Geltung zu bringen.

Weil die Magnetpole der Erde in der äußersten Gränze der thermoelektrischen Erregung liegen und der Erdmagnetismus am kräftigsten in ihnen hervortritt, gehen die Polarlichter nur wenig über sie hinaus und sind in ihrer Umgebung am häufigsten und schönsten.

Die durch den Wärmeunterschied zwischen der Aequatorialzone und den beiden Polarzonen hervorgebrachte und bereits früher (S. 229) erwähnte Doppelströmung in der Atmosphäre kann, wenn die Erwärmung in jener sehr groß gewesen ist, eine sehr bedeutende Ausdehnung erlangen und bewirken, daß die warme Luft, welche zu einer namhaften Höhe emporgestiegen ist, in einer weit horizontal ausgedehnten Strecke über kalter Luft nach den Polen strömt, ohne sich durch noch höheres Steigen sehr abzukühlen. Das bei nördlichen Winden fallende Barometer ist ein Beweis dafür. Die natürliche Folge ist, daß durch die Reibung der beiden Luftschichten von verschiedener Temperatur eine elektrische Spannung und im Norden oder überhaupt an der Stelle, wo die warme Luft herabsinkt, um den Abgang der abgeflossenen kalten zu ersetzen, eine Aufhellung der an sich schon ziemlich trockenen Atmosphäre stattfindet, so daß der dunkle Himmel und die Sterne an ihm erscheinen. Da es an Wolken mit hervorragenden Theilen fehlt und die Elektrizität in höheren dünneren Schichten der Atmosphäre vorhanden ist, so entstehen nicht einzelne Blitze, sondern nur das meist positive elektrische rothe Glimmlicht. Weil nun die Thermoelektrizität der Erdoberfläche an jedem Orte dem Thermomagnetismus eine bestimmte Richtung gibt und weil der Magnetismus auf das elektrische Licht bewegend einwirkt, erscheint dieses Glimmlicht bei hinreichend ausgebildeten Polarlichtern in Strahlen, welche sich nach dem magnetischen Meridiane richten. Daß diese Strahlen bisweilen in einer wogenden und wellenförmigen Bewegung sich zeigen, beruht theils auf der durch die elektrische Bewegung bewirkten Abgleichung, theils auf der Strömung der Luft, in welcher sie stattfinden und durch welche sie bisweilen ganz auf die Seite geschoben werden können, wohin der Wind geht, wie ich es selbst genau gesehen habe. Bei Stürmen wird sich nie ein Nordlicht bilden können, weil die unruhig wogende Luft die Entstehung der Elektrizität zwar nicht hindert, wohl aber eine so ruhige schichtenweise Abgleichung,

wie sie das Nordlicht offenbar zeigt. Der Farbenwechsel wird vorzüglich durch die Refraktion innerhalb der zarten unter ihm befindlichen Dünste hervorgebracht. Die bogenförmige Gestalt hat keinen anderen Grund, als den, nach welchem wir den Himmel selbst hohlkugelförmig erblicken, obwohl er diese Form nicht besitzt. Die nach dem Scheitelpunkte als dem scheinbar höchsten Punkte des scheinbaren Himmelsgewölbes sich zeigende Konvergenz der Strahlen ist die Folge der Perspektive und hat nichts Auffallenderes, als wenn die durch Wolkenlücken dringenden Sonnenstrahlen nach unten auseinander und von einem oberhalb nicht sehr entfernten Punkte auszugehen scheinen, obwohl der gemeinschaftliche Ausgangspunkt in der Sonne liegt.

Die Magnetnadel muß durch die Polarlichter eine Ablenkung erleiden, denn ihre bestimmte Stellung wird bewirkt durch die Stärke des Erdmagnetismus und diese durch die Stärke der thermoelektrischen Erregung. Sie steht stets senkrecht auf dem thermoelektrischen Spiralstrome der Erde. Wenn nun die Thermoelektrizität der Erdoberfläche abgeschwächt wird durch die Abgleichung mit der durch Reibung in höheren Schichten der Atmosphäre entstandenen statischen Elektrizität, so muß die Magnetnadel sich mit einem bestimmten Pole westlich oder östlich wenden, jenachdem die Abschwächung der ungleichnamigen Elektrizität (vergl. S. 383, 404) beziehungsweise östlich oder westlich stattfindet. Daß aber bei gut ausgebildeten Nordlichtern das Telegraphiren grade von Norden nach Süden erschwert oder sogar unmöglich gemacht wird, hat seinen Grund darin, daß in dieser Richtung die Erdoberfläche und somit auch der Telegraphendraht zufolge der Induktion in einer so kräftigen ruhenden Spannungslage erhalten wird, daß die zum Telegraphiren nothwendigen lebendigen elektrischen Nebenschwingungen durch die elektrische Batterie nicht können erzwungen werden. Auch bei heftigen Gewittern wird das Telegraphiren gestört, aber nicht blos in nordsüdlicher, sondern nach allen Richtungen, weil diese Erscheinungen an eine bestimmte Weltgegerd nicht gebunden sind. Diese Thatsache ist übrigens auch Zeugniß für die elektrische Natur der Nordlichter.

Da die elektrische Abgleichung bei Polarlichtern sich nicht durch Blitze vollführt, sondern in einer unzähligen Menge von kleinen Funken, so kann man bei ihrer meistens bedeutenden Höhe von dem jedenfalls stattfindenden Knistern nichts hören, sondern in seltneren Fällen nur dann, wenn sie der Erdoberfläche nahe genug sind.

Nordlichtähnliche Erscheinungen bei Gewittern, namentlich schnell dahin fliegende weiße Streifenlichter und feuerroth anhaltend leuchtende Wolken habe ich wiederholt in Amerika und auch in Europa beobachtet. Der letzte am Westhimmel vergehende weiße Streifen des schönen Nordlichtes vom 12. Juli 1858 hatte vollständig das Aussehen, wie die im März und Juli in größerer Höhe über dem Horizonte wiederholt beobachteten Streifenlichter. Wenn bei diesen Lichterscheinungen die herr-

schende Windrichtung nicht senkrecht auf den Streifen war, so zeigten sie sich nur von kurzer Dauer und verdankten ihre Entstehung nur vorübergehenden örtlichen Luftströmungen, wie sich z. B. den 10. Juli 1858 bei und nach einem warmen Gewitterregen drei kurze Streifen im Norden zeigten, die bei Ostwind von Osten nach Westen gingen und schon nach 5 Minuten verschwammen. Ebenso bildeten sich am 12ten bei Nordwest zwei breite lebhafte und wechselnde Lichtstreifen im Nordnordost. Dagegen hielt sich am 24. März 1859 in etwa 45° Höhe ein breiter von Nord nach Süd gerichteter Streifen bei Ostnordost mit seinem wechselnden Lichte länger, obwohl er bisweilen ganz verschwand. Nach einem gewitterschwülen Tage erkannte ich gegen 11 Uhr abends, daß ein leichter phosphoreszirender Nebel unter schwarzem Gewölk als ein wogender Lichtschein nach Nordnordost wiederholt und viel schneller dahinflog, als es nach der Geschwindigkeit des ziemlich scharf gehenden Westsüdwestwindes der Fall war. Oft bildeten sich plötzlich mitten in großen lichten Strecken dunkle Partien mit derselben fortschreitenden Bewegung, welche sich mehr und mehr verkleinerten, indem der Lichtnebel vom Umfange aus, vorzüglich aber von der Windrichtung her in sie wogte, um dann vonneuem abgelöscht zu werden. Entweder hörte hier der Lichtnebel auf zu leuchten oder er verschwand, so daß man das dunkle Gewölk über ihm erblickte. Während der ganzen Zeit zeigte sich nur einmal im entfernten Norden ein Wetterleuchten. — In anderen Fällen habe ich diese Lichterscheinung über dichtem Gewölk durch dessen Zwischenräume bemerkt.

Ich glaube, daß diese Thatsachen und ihre Beziehung auf die theoretischen Untersuchungen hinreichend sein werden, um über die Natur des Nordlichtes und der ihnen verwandten Erscheinungen einen hinreichenden Aufschluß gewinnen zu lassen.

3. Wir gehen nun von den Betrachtungen, welche den Einfluß des Magnetismus auf die Elektrizität und das Licht zum Zwecke hatten, zu der Frage über, ob ein Magnet auch Wärme erzeugen könne. Auf den ersten Blick erscheint bei der starren und kalten Regungslosigkeit der festen Schwingungslage, welche wir als die Natur des Magnetismus erkannten, diese Frage verneint werden zu müssen. Wenn wir aber mit dem Magnetismus oder durch ihn Molekularbewegungen vornehmen, so entsteht auch Wärme. Wenn ein Stab von weichem Eisen recht oft und schnell hintereinander, etwa mit Anwendung eines Blitzrades, durch einen elektrischen Strom magnetisirt und entmagnetisirt wird, so erwärmt er sich, weil die Molekel desselben dadurch genöthigt werden, vollständige Schwingungen zu machen, wie sie nach unserer früheren Darstellung zur Wärme gehören. Ebenso wird ein Eisenstab warm, wenn er in der Richtung des magnetischen Meridians schnell um eine lothrecht durch seine Mitte gehende Axe gedreht wird. — Aber auch wenn Arbeit und Magnetismus und die durch ihn hervorgebrachte Elektrizität

einander entgegenwirken, werden vollständige Wärmeschwingungen erzeugt. Schon wenn man einen starken Magneten an ruhendem Kupfer schnell hin und her bewegt, noch mehr aber, wenn man den Rand einer Kupferscheibe zwischen den Polen eines starken Elektromagneten recht rasch dreht, wird das Kupfer warm, weil in ihm wiederholt entgegengesetzt gerichtete elektrische Bewegungen erzeugt werden, welche im letzten Falle die Scheibe zur Ruhe bringen wollen, so daß die gewaltsam entgegenwirkende Arbeit der Drehung die lebendige Kraft der Wärme erzeugt, ohne daß Reibung stattgefunden hat. Wenn auch diese Betrachtungen nicht von praktischer Wichtigkeit sind, so gewähren sie doch ein theoretisches Interesse, weil sie eine Bestätigung unserer Ansicht von dem Wesen des Magnetismus, der Elektrizität und der Wärme sind. Molekularkräfte, mechanische Arbeit, Wärme, Elektrizität, Magnetismus werden mannigfaltig ineinander umgesetzt.

Zu diesen merkwürdigen Umwandlungen der mechanischen Arbeit in Elektrizität gehört auch die höchst wirksame Elektrisirmaschine, welche kürzlich von Holtz erfunden worden ist. Es wird hier eine geringe Quelle von Spannungselektrizität, welche man durch Reibung hervorgebracht hat, zu einer Vertheilung in einer nur gedrehten, aber dabei nicht geriebenen Glasscheibe verwendet und von dieser aus den vier Quadranten, welche paarweise entgegengesetzt elektrisch sind, zu zwei einander gegenüberstehenden Leitern geführt, so daß während der Drehung zwischen ihnen ununterbrochen die lebhaftesten Funken überspringen, wobei die Farbenverschiedenheit der beiden Polaritäten recht herrlich sich zeigt. Da hier ein fortwährendes Abgleichen der entgegengesetzten Elektrizitäten der verschiedenen Quadranten und eine stets neue Entwickelung durch die Drehung stattfindet, was um so schneller geschieht, je rascher man dreht; so haben wir hier eine Verwandlung der statischen in die dynamische Elektrizität und somit auch alle Erscheinungen der letzteren. Die Wirksamkeit dieser neuen Maschine möchte mit den von mir früher (S. 373) angeführten Wahrnehmungen in Uebereinstimmung zu bringen sein.

4. Ferner ist der Magnetismus nicht so stumm, als er zu sein scheint. Er bedarf aber auch hier, oder wenn er Schall erzeugen soll, einer äußeren Anregung. Wird ein Stahlstab diskontinuirlich magnetisirt (vergl. S. 414), so tönt er in dem Augenblicke, in welchem die Kette geschlossen wird, mit Längenschwingungen und gibt denselben Ton, welchen er durch das Anstreichen, ebenso schwingend, würde vernehmen lassen. Die Theilchen des Stahles, welche an den Gränzen der entgegengesetzten Polaritäten liegen, werden durch zwei entgegengesetzt wirkende Kräfte in Bewegung gesetzt und so gezwungen, vollständige Schallschwingungen zu machen, bis sie in der magnetischen Lage sich festgesetzt haben. — Ebenso tönt ein Stab von weichem Eisen mit freien Enden, wenn durch ihn eine diskontinuirliche elektrische, den Magnetismus in

sich schließende Bewegung (fortwährend Ladung mit Entladung abwechselnd) geleitet wird, weil die Schwingungen jedes Theilchens mit dem Polwechsel oder bei der Ladung und Entladung einander entgegengesetzt gerichtet werden oder jenseits und diesseits der Gleichgewichtslage stattfinden, also vollständig viertheilige Schallschwingungen sind. Weil hier die Tonhöhe von der Stärke des Stromes abhängt, ist wohl der Schluß gestattet, daß zu einer bestimmten Stromstärke auch eine bestimmte Schwingungszahl der Nebenschwingung gehört. — Der Eisenstab kann auch in einer Glasröhre frei schwebend angebracht und um die Röhre eine Kupferdrahtspirale gewunden sein, um durch sie die elektromagnetische Bewegung zu leiten. — Das Glas in einer Nebenbatterie geräth auch in tönende Längenschwingungen, wenn die Ladung durch einen Funkenmesser geschieht. Um den allerdings nur schwachen Ton zu hören, hält man das Ohr in der Richtung der Glasflächen oder wendet ein Stethoskop an. — Der Schall, z. B. der Schlag bei der Unterbrechung des magnetoelektrischen Stromes, wird mit der Annäherung an einen Pol eines kräftigen Elektromagneten verstärkt.

Wenn diese Betrachtungen auch keinen praktischen Werth haben, so sind sie doch von Interesse für die theoretische Auffassung aller Schwingungserscheinungen der Molekel.

5. Wenn wir endlich nach der chemischen Wirksamkeit des Magnetismus fragen, so müssen wir allerdings gestehen, daß dieselbe bis jetzt in unmittelbarer Weise noch nicht unzweifelhaft nachgewiesen worden ist, obwohl Dr. Horn dem Wasser, welches einige Zeit auf den beiden Polfüßen eines kräftigen Magneten gestanden hat, je nach der Polarität eine verschiedene medizinische Wirkung zugeschrieben wissen will; aber insofern, als durch bewegten Magnetismus die Elektrizität erzeugt wird, gehören auch ihm alle die durch letztere erlangten Erfolge an, so daß wir darüber uns weiterer Bemerkungen enthalten können.

V. Es bleibt uns schlüßlich nur noch übrig zu untersuchen, in welchen Beziehungen der Chemismus zu den verschiedenen Schwingungserscheinungen steht.

1. Eine der zunächst und am häufigsten hervortretenden Wirkungen chemischer Thätigkeit ist die Wärme. Da chemische Verbindungen und Trennungen nur dadurch möglich sind, daß die Atome des einen Stoffes sich zu denen eines anderen begeben, gleichgiltig ob das eine Folge einer einfachen oder einer Wahlverwandtschaft ist (Bd. I. S. 85), so entstehen je nach dem Grade der Verwandtschaft mehr oder minder heftige und mit Reibungen verbundene Bewegungen, welche in Schwingungen bestehen, weil zwei Kräfte theils mit, theils gegeneinander wirken, nämlich die Verwandtschaft und der Beharrungszustand in der ursprünglichen Lage. Der Grad der dadurch entwickelten Wärme kann als Maß der chemischen Verwandtschaft dienen.

Selbst wenn bloße Molekularanziehung stattfindet, ohne daß eine chemische Veränderung eintritt, entwickelt sich Wärme, wie z. B., wenn eine Flüssigkeit auf ein sehr feines Pulver gegossen und dieses von ihr benetzt wird. Unorganische Körper, wie Erdarten, Metalle und deren Oxyde, zeigen dabei eine viel geringere Wärme, als organische, wie Wurzelmehl, Stärke, getrocknete Häute, weil bei letzteren ein viel heftigeres Bestreben der Anziehung stattfindet, als bei ersteren. Wird Süßholzwurzel befeuchtet, so bewirkt die Haarröhrchenanziehung eine Temperaturerhöhung von 10,2° C.

Wenn bei einer chemischen Verbindung eine Vermehrung der Dichte (Vergrößerung des spezifischen Gewichtes) oder eine Veränderung des Aggregatzustandes aber nur in der Weise stattfindet, daß aus dem luftigen Körper ein fester oder aus dem festen ein flüssiger wird; so entwickelt sich deshalb eine höhere Temperatur, weil bei der Verminderung der Schwingungsweite der Molekel eines Körpers von bestimmter Temperatur eine Vermehrung der Schwingungszahl eintreten muß. Beispiele davon hat man bei der Vermischung von Wasser mit konzentrirter Schwefelsäure und wenn man Wasser auf frisch gebrannten (lebendigen) Kalk gießt. Baryt und Strontian können durch Schwefelsäure sogar glühend werden. Terpentinöl wird entzündet durch Salpetersäure mit Schwefelsäure, ebenso chlorsaures Kali in Schwefelsäure, worauf das sogen. chemische Feuerzeug beruht. — In allen Fällen, in welchen ein flüssiger Körper, er mag tropfbar oder luftig sein, von einem festen, oder auch, wenn ein luftiger Körper von einem tropfbaren aufgenommen wird und in ihm zu verschwinden scheint (absorbirt wird), entsteht Wärme.

Wenn durch die chemische Verbindung zweier Körper ein dritter entsteht, welcher einen größeren Raum einnimmt, als die Summe der Räume beider beträgt, oder wenn aus dem festen Körper ein tropfbarer (Kältemischungen, S. 120) oder aus dem tropfbaren ein luftiger wird; so entsteht Kälte, weil bei dem Vorhandensein einer bestimmten Schwingungskraft die Menge der Schwingungen (Temperatur) abnehmen muß, wenn die Schwingungsweite zunimmt.

Daß sich durch die bei der Krystallbildung vorhandene Atombewegung ebenfalls Wärme entwickeln muß, ist durch die Erfahrung bestätigt; ja selbst bei der Aenderung der Krystallform zeigt sich dies, wie wenn die aus flüssigem Schwefel entstandenen prismatischen Krystalle in oktaedrische übergehen oder wenn der bis auf 38° erwärmte Kandiszucker schnell in krystallinische Fäden ausgezogen wird, wobei die Temperatur bis auf 80° steigt.

Wird bei einer chemischen Verbindung Wärme frei, so enthält der neue Körper weniger Wärme gebunden, als die Bestandtheile vor der Verbindung enthielten; wird aber Wärme gebunden, so ist das Gegentheil der Fall; braucht der Körper zu seinem Bestehen die Summe der Wärme

seiner Bestandtheile, so wird die Wärme weder gebunden, noch frei. Die bei der Entstehung einer Verbindung frei werdende Wärme ist gleich der, welche bei der Aufhebung der Verbindung gebunden wird. Es zeigt sich also auch hier das in der ganzen Natur giltige Gesetz von der Erhaltung der Kraft.

2. Sind die Molekular- und Atombewegungen kräftig genug, so sind sie sogar fähig, die noch schnelleren Lichtschwingungen in dem die Körper durchdringenden Aether hervorzubringen. Es zeigen sich z. B. bei der Krystallbildung mancher Salze aus ihren wässrigen Lösungen, wie des schwefelsauren Kalis, im Dunkeln Lichterscheinungen, welche also durch Molekularbewegungen entstanden sind.

Wenn man 2 bis 3 Quentchen arsenichte Säure von glasartiger Beschaffenheit in einem Kolben von weißem Glase mit 3 Loth nicht rauchender Salzsäure und 1 Loth Wasser übergießt, das Ganze ins Kochen bringt und dann durch Verkleinerung der Flamme möglichst langsam erkalten läßt; so ist die Erzeugung eines jeden Krystalles von einem Funken begleitet und bei Bildung vieler während des Schüttelns entsteht ein lebhaftes Leuchten.

Höchst merkwürdig sind die durch den Chemismus hervorgebrachten Farbenverwandlungen, wobei sich oft aus den unscheinbarsten Stoffen (Theer, schweres Steinkohlentheeröl) die herrlichsten Farben (Anilinfarben) hervorbringen lassen. Gerade dieser Theil hat für das praktische Leben die allergrößte Wichtigkeit erlangt, gehört aber in ein technologisches Werk über Färbekunst. Wenn man z. B. schwefelsaures Kupferoxyd kalzinirt, so erhält man ein schmutzigweißes Pulver, so wie es aber mit Wasser in Berührung kommt, färbt es sich wieder blau, wobei sich Krystalle bilden, deren Entstehung unter dem Mikroskope zu beobachten sehr interessant ist. — Umgekehrt kann aber durch Wasser auch die blaue Farbe des schwefelsauren Molybdäns aufgehoben werden. So geben Quecksilber oder Schwefel und Sauerstoff in verschiedenen Verhältnissen miteinander verschiedenartige Körper mit ganz verschiedenen Farben (roth, schwarz). Solche Verbindungen sind an sich dunkle Körper und bekommen, wenn sie von weißem Lichte erleuchtet werden, grade nur für eine bestimmte Farbe die Fähigkeit, sie durchzulassen oder zurückzuwerfen und zeigen für andere keine Resonanz.

Noch häufiger aber werden Körper selbstleuchtend durch die Atombewegung während der Entstehung chemischer Verbindungen. In diesem Falle ist das Licht die Folge der Aufhebung entgegengesetzt elektrischer Spannungszustände, welche den sich miteinander verbindenden Stoffen zukommen. Schon bei dem langsamen Zersetzungsprozesse organischer Körper, wie an faulendem Holze, an verwesenden Seefischen, zeigen sich Lichterscheinungen und wenn sie auch nur in einer schwachen Phosphoreszenz bestehen.

Jeder Verbrennungsprozeß mit einer Flamme ist chemischer Natur. Die Farben der Flammen hängen dabei von der Beschaffenheit der verbrennenden Stoffe ab, wie es die Feuerwerkskörper und die bengalischen Flammen zeigen. Wie die Größe der chemischen Verwandtschaft mit der Entwickelung des Lichtes überhaupt und der Flamme insbesondere in Verbindung steht, zeigt sich u. a. beim Phosphor und bei der Verbrennung des Kaliummetalles, welches man auf Wasser wirft.

Bei dem Verbrennungsprozesse überhaupt verbindet sich Kohlenstoff mit Sauerstoff. Die durch die dabei stattfindende Atombewegung erzeugte Wärme ist gleich dem Verbindungsresultate; sie ist u. a. fähig, Wasser in Dämpfe zu zerlegen und gibt so den Wassermolekeln eine so große Bewegung, daß sie als Dämpfe frei schwebend, in dieser Bewegung und durch sie als Druckkraft gebraucht werden, welche in der Technik durch manchmal oft wiederholte Umwandlung der Bewegungsart zu den verschiedensten Zwecken verwendet wird. So kann die lebhafte Atombewegung bei der Verbrennung bei wiederholter Umwandlung der Bewegungsart und Uebertragung der Bewegung auf andere Stoffarten und Formen unter Festhaltung des Gesetzes von der Erhaltung der lebendigen Kraft zu den erstaunlichsten Leistungen benutzt werden. Es gibt aber in dem Kreislaufe der Naturprozesse durchaus kein Mittel, um Kraft zu gewinnen, sondern es wird zur Ueberwindung des Beharrungszustandes vielmehr stets ein Theil derselben verbraucht, ohne als Arbeit aufzutreten und dennoch sind die Leistungen, welche aus der Atombewegung entspringen, oft so ungeheuer große. Da nun die Atome der verschiedenen Stoffe so ungemein klein sind, daß sie als Körper jeder sinnlichen und selbst durch die besten Mikroskope und die Spektralanalyse unterstützten Wahrnehmung sich entziehen; so müssen wir annehmen, daß ihr großes Kraftmoment in einer enormen Geschwindigkeit während ihrer Verbindung besteht. Auf sie weiset auch der Umstand hin, daß die Lichtschwingungen, welche noch schneller sind, als die des violetten Lichtes, grade recht geeignet sind, chemische Verbindungen und Zersetzungen zu erzeugen, während die fast noch einmal so langsamen des rothen Lichtes nur allenfalls fähig sind, eine durch das violette Licht eingeleitete chemische Thätigkeit weiter fortzusetzen.

Wie bei den Dampfmaschinen die bloße Bewegung des Dampfes sofort und ohne neue Wärmeerzeugung in mechanische Arbeit umgewandelt werden kann, so auch die chemische Zersetzung, wie es ja die explodirenden Körper anzeigen.

3. Eine der interessantesten Umwandlungen von Bewegungsformen ist die Erzeugung von Elektrizität durch den Chemismus, wie wir sie bereits bei den voltaischen Ketten und Säulen kennen gelernt haben. Aber nur alle diejenigen Flüssigkeiten, welche durch die Elektrizität zersetzt werden können, bewirken in den Zellen einer galvanischen Kette durch ihre Atombewegung während ihrer Zersetzung in den Leitungsdrähten

die elektrische Molekularbewegung; also z. B. eine Chlorlösung zeigt sich unwirksam. Von zwei sich chemisch miteinander verbindenden Stoffen ist der eine positiv, der andere negativ elektrisch und von dem Grade ihrer chemischen Verwandtschaft hängt auch die Stärke ihrer elektrischen Verbindung ab. Dabei steht die Menge der Zersetzungsprodukte genau in gleichem Verhältnisse mit der durch Uebertragung entstandenen Stromstärke. Die Bewegung von Atomen mit bestimmtem Gewichte erzeugt auch Elektrizität von bestimmter Kraft, so daß das wichtige Naturgesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft auch hier seine Geltung hat. — Wenn man bei einer Säule von Zink= nnd Kupferplatten eine Auflösung von salpetersaurem Natron anwendet, so scheidet sich am negativen Kupfer der Wasserstoff und das Natron des Salzes aus, der positive Zink wird durch den Sauerstoff des Wassers oxydirt und das gebildete Zinkoxyd verbindet sich mit der Salpetersäure. Die Wirksamkeit der Säule hört erst dann auf, wenn alles Alkali am Kupfer und alle Säure am Zink ausgeschieden ist.

4. Daß bei chemischen Verbindungen oder Trennungen ein unmittelbarer Einfluß auf den Magnetismus sich nicht nachweisen läßt, liegt in der Natur der Sache, indem die allseitige Beweglichkeit und Bewegung bei der Bildung von jenen weder auf die starre Lage von diesem eine Wirkung äußern, noch eine solche Lage hervorbringen kann. Mittelbar aber und zwar durch die erzeugte Elektrizität wird durch den Chemismus doch auch Magnetismus (der Elektromagnetismus) erzeugt. Wenn also der Elektromagnet durch seinen Anker ein bedeutendes Gewicht trägt oder Eisenstücke schon auf große Entfernungen anzieht, so ist dieser Erfolg durch die Summirung einer ungeheuren Menge von außerordentlich kleinen in den Atombewegungen sich äußernden Kräften, und zwar durch eine dreifache Umänderung der Bewegungsart entstanden.

5. Die Erzeugung von Schall scheint dem Chemismus am meisten fremd zu sein, aber wir haben früher schon von Explosionen bei chemischen Verbindungen gesprochen (vergl. S. 9 und 394) und können hier noch hinzufügen, daß auch die ruhigen und langsamen chemischen Verbindungen oft mit einem leisen Summen verknüpft sind und wenn man sie auch selbst nur durch das Stethoskop wahrnehmen sollte.

Rückblick.

Wir haben in diesem Bande Erscheinungen kennen gelernt, welche, vereinzelt betrachtet, sich sehr oft jeder Erkärungsweise zu entziehen scheinen und vorzüglich dadurch wunderbar sind, daß die wirksamen Grundursachen auf unsere Sinne meist gar keinen Eindruck machen und daß wir Wirkungen in die Entfernuug ohne irgend ein sichtbares Band wahrnehmen. Abgesehen von den Sinnestäuschungen, welche namentlich in Betreff der Ruhe und Bewegung in unserem Weltensysteme so vielen Hader und zu allen Zeiten so schmachvolle Verfolgungen orthodoxer Dümmlinge herbeigeführt haben, ist unser Körper trotz seiner so wunderbar vollkommenen Zusammensetzung doch noch nicht fein genug organisirt, um alles das zu erkennen, was in der Natur da ist und was vorgeht.

Das bewaffnete Auge ist wohl noch imstande, an einem Räderthierchen, welches den 10ten oder 20sten Theil einer Linie groß ist, einen Schlund, gezahnten Kiefer, einen Magen, Darmdrüsen und Nerven zu erkennen; aber bei den pfeilschnell dahin schießenden Monaden, welche etwa den 2000sten Theil einer Linie einnehmen, so daß deren Millionen in einem Tropfen Flüssigkeit sein können, oder bei den Vibrionen, welche dem bewaffneten Auge als ein Haufen kleiner flimmernder Pünktchen oder Strichelchen erscheinen und deren mehr als 4000 Millionen auf eine Kubiklinie gehen, forscht man vergeblich selbst nach ihren Bewegungsorganen, welche sie doch unstreitig besitzen und die ihre Empfindung und ihren Willen vermittelnden Werkzeuge, welche sie, nach der Art ihrer Bewegung zu schließen, doch haben müssen, sind absolut unfindbar. — Obwohl in einem Tropfen Menschenblutes über 5 Millionen Blutkörperchen enthalten sind, so erscheinen sie doch als Riesen gegen die Saamenkörner eines in Italien vorkommenden Traubenpilzes, von denen jedes einzelne die Bedingungen der Fortpflanzung besitzt, also eine Zusammensetzung verschiedener Elementarstoffe ist, deren Lage-

rng und Gestalt uns stets verborgen bleiben wird. — In der unorganisirten Körperwelt ist es nicht anders.

Aber auch für die Wahrnehmung dessen, was in der Natur vorgeht, sind unsere Sinne nicht scharf genug. Wir können die bei der Stoffumwandlung unstreitig vorhandenen Bewegungen ins Einzelne nicht verfolgen, wir sind unfähig, die Schwingungen des Weltäthers bei der Fortpflanzung des Lichtes und der strahlenden Wärme zu erkennen, ebenso sind die elektrischen und Wärmeschwingungen irdischer Körper noch allzurasch, um sie wahrnehmen zu können, und nur die verhältnißmäßig sehr langsamen Schallschwingungen entziehen sich unter Umständen unserer Beobachtung nicht ganz, wenn auch ihre unmittelbare Zählung nicht ausführbar ist. Die Schwingungszahlen für diese verschiedenen Erscheinungen schwanken von etwa 800 Billionen bis herab zu 16 in einer Sekunde. Deren Anzahl bei der Elektrizität zu bestimmen, ist zwar bis jetzt noch nicht versucht worden, dürfte aber durch die Berücksichtigung des Grades der Leitungsfähigkeit und der in verschiedenen Fällen sich zeigenden Farbenerscheinungen möglich sein.

Wenn wir in dem letzten Abschnitte gefunden haben, daß jede von den sechs Atom- und Molekularbewegungserscheinungen jede der fünf anderen, theils unmittelbar, theils mittelbar, zu erzeugen fähig ist; so erscheint dies allerdings zwar höchst wunderbar, wird aber, wenn wir ihnen eine rein mechanische Theorie unterlegen, ebenso erklärlich, wie die im ersten Bande dieses Werkes angeführten Umwandlungen der Bewegungsarten durch verschieden geformte Maschinentheile. Wenn wir z. B. die bei einem Dampfwebestuhle und den dazu nöthigen anderen Vorkehrungen vorkommenden Bewegungen betrachten, so werden wir wohl kaum mit wenigerer Bewunderung erfüllt, als wenn wir die Wärmeschwingungen in elektrische oder diese in magnetische verwandelt sehen; der Unterschied ist nur der, daß wir dort aus der Gestalt der Maschinentheile und der Art und Zeit des Ineinandergreifens derselben die Umwandlung der Bewegungsarten verfolgen können, daß aber hier unsere, selbst durch die besten Mikroskope unterstützten Sinne uns den Dienst versagen, so daß wir allein darauf angewiesen sind, aus den Erscheinungen Vermuthungen (Hypothesen) aufzustellen und diese zu rechtfertigen suchen.

Ein Punkt aber bleibt bei den physikalischen Erscheinungen immer noch in ein räthselhaftes Dunkel gehüllt, nämlich die W i r k u n g a u f d i e E n t f e r n u n g. Während wir bei unseren Maschinen überall ein sichtbares Band der Fortpflanzung oder eine durch einen irdischen Stoff vermittelte Transmission haben müssen, bedürfen viele der Schwingungserscheinungen zu ihrer Wirkung auf die Entfernung gar keines irdischen Stoffes oder sie kehren sich auch nicht an diese Stoffe. Hier bleibt also nichts übrig, als die Mitwirkung des raumerfüllenden Aethers in Anspruch zu nehmen. Er durchdringt alle irdischen Körper, ist je nach

ihrer materiellen Beschaffenheit in ihnen in einem verschiedenen Zustande der Dichtigkeit und bei ihrer Bewegung thatsächlich mit ihnen ebenfalls bewegt. Da er nun auch äußerlich alle Körper umgibt und in seiner absoluten Elastizität den unendlichen Raum einnimmt, so darf es wohl kaum noch befremden, wenn wir behaupten,

> daß er auch an den schwingenden Atom- und Molekularbewegungen aller Körper theilnimmt und diese Bewegungen von einem Körper auf einen anderen fortpflanzt, ohne daß eine Berührung stattzufinden braucht,

natürlich nach dem Gesetze, daß die Wirkungen mit zunehmender Entfernung abnehmen, wie die Quadratzahlen der Entfernungen zunehmen. Sind es zwei Körper derselben Natur, so entsprechen die beiden Erscheinungen einander vollkommen oder es entsteht als Resonanz eine Erscheinung derselben Art; ist die Natur der beiden Körper, des erregenden und erregten, verschieden, so tritt die Erscheinung in dem erregten Körper in einer anderen Weise auf, als in dem erregenden: z. B. aus Wärme wird Elektrizität, aus dieser Magnetismus. Bisweilen sind die Erscheinungen zusammengesetzt: in einem Leitungsdrahte können Wärme, Elektrizität und Magnetismus gleichzeitig vorhanden sein; jemehr aber die eine dieser Schwingungsarten überwiegt, desto mehr treten die anderen in den Hintergrund; Wärme z. B. kann den Magnetismus vernichten.

Ein ganz besonderes Interesse hat nur noch die Beantwortung der Frage, warum gleichnamige Elektrizitäten und Magnetismen einander abstoßen, ungleichnamige einander anziehen. Da nach den von diesen Erscheinungen früher gegebenen Vorstellungen die Molekel zweier einander gegenüberstehenden ungleichnamig elektrischen oder ungleichnamig magnetischen Körper einerlei Bewegungsrichtung angenommen haben, so könnte das Anziehungsgesetz auch heißen:

> gleichgerichtete Bewegungen der Molekel, sowohl in der (elektrischen oder magnetischen) Spannungslage, als auch bei den Schwingungen, geben den Körpern das Bestreben der Anziehung, entgegengesetzt gerichtete aber das Bestreben der Abstoßung.

Ich möchte aber auch in dieser Beziehung die Körper selbst nicht als aktiv ansehen, weil ich dazu einen natürlichen Grund nicht aufzufinden vermag; sondern als passiv. Sie werden nämlich in jenem Falle durch die Kraft des unbegränzten Weltäthers zu einander, in diesem Falle von einander gedrückt. Werden sie von einander gedrückt, so hat dieses seine Gränze in der durch die Spannungslage der Molekel und die Massenbeschaffenheit bedingten Dichte des in den Körpern vorhandenen Weltäthers. Wenn der äußere Gegendruck des Weltäthers dem von innen ausgehenden das Gleichgewicht hält, daun tritt Ruhe ein oder es findet weder Anziehung noch Abstoßung statt.

Weil bei der Abstoßung entgegengesetzte Kräfte wirken, so tritt eher eine Schwächung und sogar eine Aufhebung der einander abstoßenden Kräfte ein, als es bei der Anziehung der Fall ist. Wollte man zwei Magnetstäbe oder auch nur einen Hufeisenmagnet kräftig erhalten, so mußte man an jeden Pol einen ungleichnamigen legen, beim Hufeisen auch mittelst eines Ankers die entgegengesetzte Polarität zur Stärkung hervorbringen. Ist eine freischwebende Neigungsnadel durch den Erdmagnetismus zur Ruhe gebracht, so haben die thermoelektrischen Schwingungen der Erdoberfläche einerlei Richtung mit der magnetischen Schwingung.

Es zeigt sich auch in diesem Falle das in der ganzen Natur hervortretende Bestreben nach Einheit, welche durch den allgewaltigen Weltäther zwar erstrebt, aber wegen des mit ungeschwächter Energie fortwährend thätigen Kampfes einander entgegenwirkender Kräfte niemals erreicht wird.

Die Gesetze der irdischen Naturprozesse sind allgemeine Weltgesetze; Stoff und Kraft sind überall dieselben. Der Stoff kann nicht vernichtet werden, ist also auch nicht geschaffen, sondern ist von Ewigkeit her und wird auch in Ewigkeit bleiben, ohne daß auch nur ein Atom davon verloren ginge; aber sein Zustand ist wandelbar nach bestimmten Gesetzen, welche Niemand zu ändern vermag.

Wie wenig der Stoff, also auch die Welt nicht aus nichts entstehen konnte, ebensowenig die Kraft, welche eine Eigenschaft des Stoffes ist. Die Summe der im Weltraume wirkenden Kräfte war von Ewigkeit her eine bestimmte und wird auch in Ewigkeit unverändert bleiben. Wenn die auf der Erde wirkenden Kräfte in der einen Weise unterzugehen scheinen, so treten sie doch in einer anderen Weise wieder auf. Hebt z. B. Wärme den Widerstand der molekularen Kräfte auf oder bringt sie eine mechanische Arbeit hervor, so geht sie als Wärme zwar unter, erscheint aber in einer anderen Bewegungsform. Wenn die innere Arbeit in einem Körper seine Dichtigkeit verändert, so wird Wärme da erzeugt, wo sie früher untergegangen ist. Und so in anderen Fällen.

In den aus dem Weltraume so häufig zu uns gelangenden Meteormassen hat die Chemie andere Stoffe, als wie sie auf unserer Erde vorkommen, zu entdecken nicht vermocht; sie zeigen auch nicht andere Krystallformen, als die sich auf der Erde darbietenden. Auch die Spektralanalyse beweiset es, daß alle Himmelskörper aus denselben Urstoffen bestehen. Wie die Erde flüssig gewesen ist und an sich verschiedene Entwickelungsperioden zeigt, so war es auch bei den anderen Himmelskörpern der Fall; wie die Erde zufolge ihrer Axendrehung eine Abplattung besitzt, so zeigen sie auch die übrigen Himmelskörper, welche noch eine Beobachtung nach dieser Richtung zulassen, und diese Aenderung der Kugelgestalt eines sich um eine bestimmte Axe drehenden flüssigen Körpers ist eine gesetzmäßig so bestimmte, daß sie z. B. bei dem Jupiter

zuerst durch Rechnung so aufgefunden worden ist, wie sie nachträglich durch die Beobachtung erkannt wurde. Die Gesetze der Anziehung und Bewegung, wie wir sie auf unserer Erde beim fallenden Steine, beim schwingenden Pendel u. s. w. erkennen, beherrschen alle Körper des Weltraumes und sind, soweit das Fernrohr reicht, als unfehlbar erkannt worden. — Die Gesetze des Lichtes und seine Fortpflanzung sind dieselben im ganzen Weltenraume, wie auf unserer Erde, das von den entferntesten Fixsternen, welches viele Billionen Meilen bis zu uns zurücklegen muß, unterscheidet sich nicht von dem unserer Sonne. Wie auf unserer Erde die Aggregatzustände der Körper von der Wärme abhängen, so auch im übrigen Weltraume, und an den uns nächsten Planeten, namentlich der Venus, welche überdies mit unserer Erde eine große Aehnlichkeit hat, können wir es sogar zum Theil erkennen. Mit der Wärme hängen Elektrizität und Magnetismns innig zusammen, also dürfen wir auch auf den übrigen Weltkörpern ihr Vorhandensein annehmen.

Hätten alle Körper in der ganzen Natur dieselbe Temperatur, so wäre von einem Verbrauche der Wärme und einer Umwandlung derselben in Arbeit mit verschiedenen Bewegungsformen, von chemischen, elektrischen, magnetischen Erscheinungen gar keine Rede. Wie lange also unsere Sonne z. B. auf der Erde noch Wärmeunterschiede erzeugt, ist hier noch der mit steten Umwandlungen verbundene Lebensprozeß vorhanden; hörte sie je auf zu wärmen, oder wäre die Erde überall gleich warm, so würde alles Leben aufhören.

Wir haben gefunden, daß da, wo ein Naturgesetz waltet, auch die übrigen walten, weil nur das Gleichgewicht aller Kräfte die Welt zu erhalten vermag, und wir können schlüßlich sagen, daß **die ganze unendliche Welt aus denselben Stoffen zusammengesetzt ist und von denselben Kräften getragen wird, welche von den einzelnen Atomen bis zu der unendlichen Menge von Weltkörpern wirksam sind.**

Meteorologischer Nachtrag.

Die Meteorologie führt ihren Namen eigentlich von den Meteoren. Nach dem gangbaren Sprachgebrauche aber versteht man unter den Meteoren die in unbestimmten Zeiten erscheinenden Feuerkugeln und die periodisch (am 10. bis 12. August und vom 11. bis 13. November) sich zeigenden Sternschnuppen. Beide Erscheinungen sind kosmische, wenn auch die ersteren meist nur dann erst erkannt werden, wenn sie in unsere Atmosphäre getreten sind. Diesem Begriffe entgegen beschränkt sich die Meteorologie nur auf die Erscheinungen in der die Erdoberfläche umgebenden Atmosphäre und könnte wohl Atmosphärologie genannt werden. Die Witterungskunde ist nur eine von den Früchten, welche aus einer wissenschaftlichen Behandlung der Meteorologie gewonnen werden. Weil aber die Witterung grade so außerordentlich wichtig ist nicht nur in Betreff unseres körperlichen Wohlbefindens, sondern auch in Beziehung auf die Pflanzenkultur, von welcher in erster Linie unser Bestehen abhängt; so hat man sich seit den ältesten Zeiten zwar bemüht, für die Wettererscheinungen eine gewisse Gesetzmäßigkeit zu finden und der Volksglaube hat sich auch eine Menge von Sprüchen und ganz unzuverlässigen Wetterprophezeiungen, z. B. in den Kalendern, angeeignet, aber erst in den letzten 30 bis 40 Jahren ist die Meteorologie wissenschaftlich betrieben worden und nun mehr und mehr die Aussicht vorhanden, daß ihre Resultate sich praktisch verwerthen lassen.

Weil hier großartige Verhältnisse vorliegen, ist es unmöglich, aus Erscheinungen an einzelnen Orten Schlüsse zu ziehen, welche eine allgemeine Geltung haben sollen. Es ist nothwendig, über große Gebiete der Erdoberfläche, ja über die ganze Erde, regelmäßige und lange Zeiträume andauernde Beobachtungen mit ganz genauen Instrumenten anzustellen, um dann durch Zusammenstellung der Beobachtungsresultate die Gesetze, nach denen die Erscheinungen stattfinden, zu entdecken und daraus weitere Schlüsse zu ziehen. Die ersten Anregungen dazu haben Alexander v. Humboldt und Gauß gegeben, und Dove, welcher seit mehr

als 30 Jahren die Meteorologie zu seinem Lebensberufe macht, hat das Verdienst, die praktische Ausführung an sehr vielen Orten ins Leben gerufen und eine Menge wichtiger Resultate gewonnen zu haben. Mit seiner Genehmigung werde ich später die in der dritten, soeben fertig gewordenen Auflage seines „Gesetzes der Stürme" enthaltenen Resultate benutzen.

Wenn die Fortschritte der Physik es auch ermöglicht haben, uns über die Ursachen der Erscheinungen genaue Aufklärung zu geben und uns darüber zu belehren, daß die Erfolge nicht anders sein konnten, als sie sich eben gezeigt haben; so sind wir doch jetzt noch ziemlich weit davon entfernt, einerseits mit unfehlbarer Sicherheit die erste Veranlassung zu einer bestimmten Veränderung der Witterung und andererseits stets anzugeben, was weiter sich ereignen werde. In einzelnen Fällen ist es wohl gestattet, ziemlich sichere Schlüsse zu ziehen. Da z. B. in diesem Winter die warmen Südströmungen der Luft so andauernd geherrscht und uns eine selten hohe Temperatur gebracht haben, so läßt sich erwarten, daß auch das Meer nördlich von Europa weit weniger abgekühlt und mit Eis bedeckt sein wird, als es bei anhaltenden nördlichen Winden der Fall würde gewesen sein. Wenn also eine Nordpolexpedition je Aussicht haben sollte, das Meer auf bedeutende nördliche Breiten eisfrei zu finden, um dann in die eigentliche im Spätsommer wahrscheinlich eisfreie Polarzone und nach dem Nordpole vorzudringen; so wäre es grade in diesem Jahre. Eine gewisse historische Berühmtheit hat eine Prophezeiung von Quatremère-Disjonval erlangt, welcher dem Pichegru aus seinem Gefängnisse vorhersagte, daß Waal und Maas so einfrieren würden, daß er das französische Heer nach Holland würde führen können, wie es in der That am 2. Januar 1795 geschah. Der Wetterprophet war aber hier die von Quatremère beobachtete Kreuzspinne, welche Veranlassung zu der von ihm verfaßten Araneologie wurde.

Vorzüglich praktisch wichtig aber sind solche meteorologischen Untersuchungen für die Klimatologie, d. h. für die Erkenntniß der gesammten Witterungsverhältnisse der verschiedenen Gegenden, welche uns theils vor so manchen Mißgriffen in Betreff der Kolonisation, der Agrikultur und mancher sozialen Einrichtungen bewahren, theils anweisen wird, was wir in der Akklimatisation von Pflanzen und Thieren zu thun oder zu meiden haben, um dem Wohlstande eine sichere Grundlage zu geben. Namentlich unterliegt die geographische Vertheilung der Pflanzen (Pflanzengeographie) den Einflüssen des Klimas, und somit auch die der Thierwelt, welche von den Pflanzen abhängig ist.

In neuerer Zeit ist es für die Seefahrer besonders wichtig geworden, aus dem Gange der meteorologischen Instrumente die Anzeichen für einen hereinbrechenden Sturm zu erkennen und die Richtung zu ermitteln, nach welcher man fahren muß, um der Gefahr zu entgehen oder sie zu vermindern.

Wir haben in diesem Werke bereits zwar die wesentlichsten meteorologischen Instrumente und deren Anwendung kennen gelernt, namentlich das Barometer (Bd. I. S. 211), das Thermometer (Bd. II. S. 107), das Psychrometer (Bd. II. S. 238), die Windfahne (Bd. I. S. 441), den Regenmesser (Bd. II. S. 272), auch haben wir bei dieser Gelegenheit und an anderen geeigneten Stellen, namentlich bei Besprechung der Winde (Bd. 1. S. 228) und der Wassererscheinungen in der Atmosphäre (Bd. II. S. 266) auf die wichtigsten meteorologischen Gesichtspunkte hingewiesen; aber wir können es uns bei der Wichtigkeit der Sache nicht versagen, hier in einem einigermaßen systematischen Zusammenhange, anknüpfend an Bekanntes, noch einige Ergänzungen anzuschließen.

Die Betrachtung der Atmosphäre ist für uns nicht nur insofern wichtig, als wir in ihr leben und als vorzüglich durch ihre Beschaffenheit unser körperliches Gedeihen bedingt wird, sondern auch als Werkstätte der großartigsten Naturerscheinungen, die ebensowohl das Interesse jedes Gebildeten fesseln müssen, als sie geeignet sind, den ganzen Haushalt der irdischen Natur zu bedingen.

Die Atmosphäre ist die luftige Hülle, welche unseren Erdkörper überall umgibt und auch in das Innere desselben eindringt, wie tief wir auch zu gelangen vermögen. Die Bestandtheile derselben sind theils Gase, welche unter allen Umständen den Aggregatzustand der luftigen Körper beibehalten, theils Wasserdämpfe, theils andere Stoffe. Die eigentliche atmosphärische Luft ist ein gleichmäßiges Gemenge aus:

23,299	Gewichtstheilen oder	21	Raumtheilen	Sauerstoff und
76,701	„ „	78,999	„	Stickstoff mit
	durchschnittlich etwa	0,001	„	Kohlenstoff.

Dieses Verhältniß ist überall auf der Erde zu allen Jahres- und Tageszeiten in der Höhe und in der Tiefe, im Freien und in Zimmern, selbst Krankensälen und über den Häuptern von Menschenmassen, über Sandwüsten und Eisfeldern, wie über grünenden Feldern vorhanden.

Außer diesen stets und unter allen Umständen in demselben Verhältnisse vorkommenden Luftarten sind nur noch unter besonderen und örtlichen Umständen einige andere Gasarten vorhanden.

Wasserstoffgas ist wohl nur neben Kratern von Vulkanen in größeren Höhen über der Erdoberfläche in der atmosphärischen Luft entdeckt worden, obwohl es in Sümpfen, bei der Zersetzung und Ausdünstung thierischer Körper und auf andere Weise erzeugt wird. Gay-Lüssac hat in der Luft, welche er bei seiner Luftfahrt aus einer Höhe von 20428 pariser Fuß mit herab brachte, auch nicht eine Spur davon vorgefunden, so daß man nicht annehmen kann, daß diese leichte Luft in der Atmosphäre emporgestiegen ist. Man kann also nur annehmen, daß sie bei ihrer allmähligen Erzeugung eine Verbindung mit dem Sauerstoffe eingeht und Wasser oder Wasserdampf mit ihm bildet, dessen

äußerst geringe Menge den Zustand der Atmosphäre nicht wesentlich zu ändern vermag.

Kohlensäure, welche schwerer ist, als atmosphärische Luft, wird zwar dicht an der Erdoberfläche, z. B. in Krankensälen und menschenerfüllten Räumen, beim Gährungsprozesse, an Orten, wo Kohlen verbrennen und am Erdkörper selbst, wie in der bekannten Hundsgrotte, zum Theil in ziemlich bedeutender Menge erzeugt, so daß ihr Einathmen lebensgefährlich wird, namentlich wenn ihr Antheil bis zu $^1/_{10}$ steigt; aber über dem Meere und mit lebenden Pflanzen bedeckten Flächen verschwindet sie und in den größten bis jetzt erreichten Höhen über dem Lande ist ihr Antheil im Mittel nur 0,001 gefunden worden.

Wie bedeutend der Gehalt an Kohlensäure in menschenerfüllten Räumen wird, haben einige in Paris angestellte genaue Beobachtungen ergeben. In der Deputirtenkammer stieg der Antheil dieser für die Gesundheit so gefährlichen Luft nach $2^1/_2$ stündiger Sitzung auf 2 Tausendstel, in der komischen Oper nach derselben Frist im Parterre auf 2,3, unmittelbar nnter der Decke 4,3; in einem Schlafsaale der Salpetrière nach neunstündigem Verschlusse auf 5,8, in einem anderen Saale nach $8^1/_4$ Stunden auf 8 und in dem chemischen Hörsaale der Sarbonne nach $1^1/_2$ stündigem Verschlusse sogar auf 10 Tausendstel. Da nun weniger als 1 Prozent Kohlensäure in der eingeathmeten Luft der Gesundheit schon nachtheilig ist, so sieht man, daß für solche Räume eine gute Ventilation, welche stets frische Luft zu- und die verdorbene abführt, zu einem unabweislichen Bedürfnisse wird.

In Paris würde die Kohlensäure, welche in 24 Stunden durch die Feuerstätten und das Athmen der Menschen und Thiere entwickelt wird, die Stadt mit einer 86 Millimeter hohen Schicht bedecken, wenn sie sich gleichmäßig lagerte und es würde so in kurzer Zeit alles Leben vernichtet werden, wenn im Haushalte der Natur für die Verbreitung und den Verbrauch dieses Gases nicht gesorgt wäre. Wir haben schon früher (Bd. I. S. 91, 201) unter dem Namen Diffusion die Eigenschaft der Gase erwähnt, daß jedes einen gegebenen Raum so ausfüllt, als wäre ein anderes gar nicht vorhanden. Darnach vertheilt sich also die Kohlensäure, insofern sie wegen ihres größeren spezifischen Gewichtes nicht auf die lockere Erdoberfläche herabgesunken und hier zersetzt worden ist, sofort nach ihrer Entwickelung gleichmäßig durch die übrige Luft; hier aber wird sie über den ungeheuer ausgedehnten grünenden Flächen unter dem Einflusse des Sonnenlichts zersetzt, indem die lebenden Pflanzen den Kohlenstoff anziehen und den Sauerstoff abstoßen. Während der Nacht verschlucken sie zwar einen Theil des ausgehauchten Sauerstoffes, aber nur im verwelkenden und krankhaften Zustande. Dazu kommt, daß die Winde und Stürme sehr bald auch das Gleichgewicht herzustellen vermögen, da sie selbst bei mäßiger Geschwindigkeit in we-

nigen Tagen den Weg zwischen den Polen und dem Aequator zurücklegen können.

Außerdem hat man in der Atmosphäre in der Nähe von Meeren, namentlich auch am todten Meere, Salzsäure und salzsaure Salze in geringer Menge vorgefunden; aber ein nie fehlendes und für die Vegetation äußerst wichtiges Gas ist das Ammoniak, welches sich namentlich bei der Fäulniß entwickelt und wegen seiner großen Löslichkeit in Wasser bei Regen, besonders Gewitterregen, herabgebracht wird, so daß es in der Regel auch nur in geringer Menge vorhanden ist. Die Angaben schwanken von 0,02 bis zu 0,0000001.

Außerdem sind noch viele andere Stoffe meist in so geringer Menge vorhanden, daß dieselben chemisch in der Regel sich nicht nachweisen lassen: mancherlei Miasmen in den Tiefebenen großer Flüsse (Ganges), in morastigen Thälern (Mexiko), an stagnirenden Gewässern (pontinische Sümpfe); ferner Rauch, Asche, Schwefelwasserstoff und andere Stoffe aus Vulkanen, Essen, Hochöfen, Fabriken (namentlich Gasfabriken), Laboratorien; die Bestandtheile der sogenannten trockenen Nebel, der Wüstenstaub, Blüthenstaub von Gewächsen u. a.

Neben dem Stickstoffe und dem Sauerstoffe ist aber der wesentlichste Bestandtheil der Atmosphäre der Wasserdampf. Er wird ununterbrochen durch die Wärme entwickelt und durch die Kälte wieder vernichtet. Allein durch diesen ewigen Kampf ist es möglich, daß die Erde als organisches Ganzes besteht. Es ist aber auch durch den Druck der Atmosphäre (Bd. I. S. 203, 240) dafür gesorgt, daß die Entwickelung des Wasserdampfes aus den Gewässern der Erde nicht allzuschnell vor sich gehe (vergl. Bd. II. S. 249). Wäre der Luftdruck aufeinmal nicht vorhanden, so würden alle Gewässer, namentlich in der heißen Zone, sich schnell in Dämpfe verwandeln, diese würden sich stürmisch nach den beiden kalten Polargegenden begeben, um dort in Eis und Schnee verwandelt zu werden und es würde endlich auf der Erdoberfläche nur Eis und Wasserdampf vorhanden sein. Das an der Gränze der Eiszonen entstehende Wasser würde auch sofort sich immer wieder in Eis verwandeln. Fänden keine Temperaturveränderungen an demselben Orte und Verschiedenheiten an verschiedenen Orten statt, so würde sich freilich nur eine so große Menge Wasser in Dünste verwandeln, als zum Sättigungsgrade nothwendig ist und das übrige Wasser würde wegen des auf ihm lastenden Dampfdruckes verhindert sein, sich auch zu verwandeln und wir hätten dann um die Erde nur eine Wasserdampfatmosphäre von beständiger Dichte für jeden Ort.

Die Stärke der Verdunstung des Wassers, die Lebhaftigkeit der Verwandlung von Dämpfen in Wasser und Eis, sowie der Grad der Sättigung von Luft mit Dünsten ist aber von dem Wechsel der Temperaturverhältnisse abhängig und bedarf einer eingehenderen Untersuchung. Es ist für die Menge der Dämpfe gleichgiltig, ob sie in

einem gewissen Raume ganz allein oder mit atmosphärischer Luft vorhanden sind; sie richtet sich nur nach der in diesem Raume herrschenden Temperatur. Ein Raum ist mit Dämpfen gesättigt, wenn er bei der betreffenden Temperatur noch mehr Wasser in Dampfgestalt aufzunehmen unfähig ist. In diesem Falle wird also sowohl aus den noch mehr zugeführten Dämpfen sofort Wasser und ein Theil der vorhandenen Dämpfe wird auch ohne eine solche Zuführung zu Wasser, wenn man den Raum verkleinert, ohne die Temperatur zu erhöhen oder wenn die Temperatur erniedrigt wird, ohne die Größe des Raumes zu verändern. Ist ein Raum fähig, noch mehr Dämpfe aufzunehmen, so ist er um so entfernter vom Sättigungspunkte, je mehr er dieses vermag.

Dieselben Umstände gelten auch von der atmosphärischen Luft. Wird in ihr der Sättigungsgrad überschritten, so bilden sich Nebel und Wolken, wie meist in der Höhe der Atmosphäre, namentlich auch an den Gebirgen. Daher sind dort die Mose stets feucht, selbst wenn auch noch keine Nebel entstanden sind. Ist sie mit Dampf gesättigt, so werden alle Gegenstände in ihr feucht; ist sie trocken, so werden selbst solche Körper, welche die Feuchtigkeit mit Begier anziehen, wie Weinsteinsalz, salzsaurer Kalk, in ihr trocken, auch wenn sie ganz naß waren. Die absolute Menge von Dämpfen, welche in kalter Luft bei ihrer Sättigung vorhanden ist, muß geringer sein, als die von heißer im Sättigungsgrade. Wird die Luft in jenem Falle erwärmt, ohne ihr eine größere Menge von Dämpfen zuzuführen, so ist sie nicht mehr gesättigt, sondern wird um so trockener, je höher ihre Temperatur steigt. Man muß also bei der Beurtheilung der Feuchtigkeit der Atmosphäre vorzüglich zwei Rücksichten festhalten: die absolute und die relative Menge von Dampf. Jene gibt man dadurch an, daß man die Höhe der Quecksilbersäule des Barometers nennt, welche der vorhandene Dampf zu tragen fähig ist; diese, daß man die Prozente der Dunstsättigung anführt, wobei also 100 die Sättigung und z. B. 50 (Prozent) bedeutet, daß noch einmal so viele Dämpfe vorhanden sein müßten, als wirklich vorhanden sind, um die Sättigung zu erreichen. Die Luft ist um so nässer, je mehr Prozente Feuchtigkeit sie enthält. Kalte Luft wird also bei einer gewissen Menge von Dünsten eher feucht sein, als warme. Naßkalte Luft kann also weniger Dünste enthalten, als trockenwarme.

Wenn Luft bei 4° C. mit Dämpfen gesättigt ist, so beträgt der bloße Dampfdruck 6,1 Millimeter; ist sie bei 20° C. gesättigt, so beträgt der Dampfdruck gegen 17,4 Millimeter. — Wäre nun bei 4° C. Luftwärme der Druck des in ihr enthaltenen Dampfes nur 5,1, so würde die Luft mit Dünsten noch nicht gesättigt sein, weil ihr zum Sättigungsgrade noch so viel fehlt, als einer Quecksilbersäule von $6{,}1 - 5{,}1 = 1$ Millimeter entspricht, also so ziemlich noch der sechste Theil, so daß der wirklich vorhandene Dampf $5{,}1/6{,}1 = 0{,}836$ von der

Sättigung oder 83,6 Prozent beträgt. — Wäre aber bei 20° Luftwärme der Druck des in ihr vorhandenen Dampfes 8,7 Millimeter, so fehlten zur Dunstsättigung noch so viele Dämpfe, als einem Drucke auch von 8,7 Millimeter entspricht und die relative Feuchtigkeit beträgt $^{8,7}/_{17,4} = 0,50$ oder 50 Prozent der Sättigung. — In dem letzten Falle ist die absolute Feuchtigkeit (8,7) zwar größer, als im ersten (5,1), aber die relative ist geringer (50 gegen 83,6). Wenn wir also von trockener oder feuchter Luft sprechen, so ist damit durchaus noch nicht die absolute Menge von Dünsten bezeichnet, sondern nur die relative, so daß also in unseren Beispielen die Luft von 4° feuchter ist, als die von 20°. In feuchter Luft werden nasse Gegenstände natürlich schwer, in trockener Luft leicht trocken werden und trockene hygroskopische Gegenstände (Küchensalz) in jener feucht, feuchte in dieser trocken werden

Die atmosphärische Luft wird also in der heißen Zone relativ trocken, in der kalten relativ feucht sein, obwohl in jener wegen der hohen Temperatur sich eine ungeheure Menge von Dünsten und viel mehr entwickeln, als in dieser. Ebenso ist in den gemäßigten Zonen der Sommer relativ trockener, als der Winter: der Monat August ist bei uns der trockenste, der Dezember der feuchteste Monat. Im Laufe eines Sommertages ist der Wassergehalt der Luft zweimal ein größter, nämlich gegen 9 Uhr vormittags und 9 Uhr abends; zweimal ein kleinster, nämlich um 4 Uhr nachmittags und kurz vor Sonnenaufgang.

Der von der Atmosphäre ausgeübte Druck ist eine Summe der Druckkräfte der beiden miteinander mechanisch in einem ganz bestimmten Verhältnisse miteinander verbundenen oder gemengten gasigen Hauptbestandtheile, des Sauerstoffes und Stickstoffes, und der in einer veränderlichen Menge stets vorhandenen Wasserdämpfe, welche vorzüglich zu den in ihr vorkommenden Erscheinungen beitragen. Da die Temperatur an der Erdoberfläche wegen der Axendrehung und der Bewegung um die Sonne fortwährend periodischen Veränderungen unterworfen ist, so findet dies auch mit dem Dampfgehalte statt und gibt zu sehr verwickelten Erscheinungen Veranlassung.

Im Allgemeinen ist die absolute Menge der Wasserdämpfe in größeren geographischen Breiten, ferner an demselben Orte im Winter und in größeren Höhen geringer, als in geringeren Breiten, im Sommer und an der Erdoberfläche. Der Einfluß der anderen Bestandtheile der Atmosphäre auf den Barometerstand ist so gering und so wenig nachweisbar, daß er ganz unberücksichtigt gelassen werden kann. Will man den Druck der trockenen Luft wissen, so muß man von dem Gesammtdrucke den durch die Wasserdämpfe hervorgebrachten abziehen.

In Betreff der Gestalt der Atmosphäre ist zu bemerken, daß sie nicht genau hohlkugelförmig um die Erde ausgebreitet, sondern wie der feste Erdkörper abgeplattet ist, d. h. sie wird von den Polen an nach dem Aequator immer höher und höher. Dafür sind zwei Gründe:

1) Obwohl die Luft ein außerordentlich leicht beweglicher Stoff ist, so wird sie doch durch ihr Gewicht an die Erde gefesselt und somit genöthigt, an ihrer Axendrehung theilzunehmen, was vollständig freilich nur bei absoluter Windstille stattfindet. Da nun bei der Axendrehung der Erde alle Orte unter demselben Meridiane gleichzeitig ihre Kreisbahnen beschreiben und die Kreise von den Polen nach dem Aequator hin immer größer werden, so besitzen die dem Aequator näher liegenden eine größere Drehungsgeschwindigkeit, als die entfernteren, bekommen also dadurch auch eine größere Schwungkraft, als die langsamer sich bewegenden und der Axe näher liegenden Punkte und entfernen sich daher auch weiter, zumal wegen der sphäroidischen Gestalt des Erdkörpers die Erdanziehung nach dem Aequator hin abnimmt.

2) Durch die in der heißen Zone herrschende höhere Temperatur wird hier die Luft stets mehr ausgedehnt, als nach den Polen hin, dadurch wird sie leichter, steigt mit ihrer Raumerweiterung empor und erhöht somit die Atmosphäre über dem Aequator, bis nach allen Richtungen hin das Gleichgewicht hergestellt ist.

Aus diesen Gründen und wegen der so großen Beweglichkeit der Luft muß die Atmosphäre mehr abgeplattet sein, als der feste Erdkörper.

Wenn wir nach der oberen Gränze oder nach der Höhe der Atmosphäre fragen, so läßt sich darüber eigentlich keine bestimmte Antwort geben, da sie sich allmählig, immer dünner werdend, ins Unbestimmte verliert. Wäre das mariottesche Gesetz (Bd. I. S. 220) über alle Gränzen richtig, so würde die Atmosphäre unbegränzt sein, weil bei unendlich geringem Drucke die Luftschicht darüber unendlich hoch sein müßte Daß sie aber nicht unbegränzt sein, ja in unserem Planetensysteme nicht einmal bis an den Mond reichen kann, ist deshalb klar, weil zufolge der allgemeinen Massenanziehung der Mond sich aus ihr auch eine Atmosphäre in verdichtetem Zustande bilden und zeigen würde, was durchaus nicht der Fall ist. — Würde ihre Dichtigkeit am Meeresspiegel, wo der Barometerstand 28 pariser Zoll und 2 Linien beträgt, als eine nach obenhin gleichbleibende angenommen, so könnte sie eine Höhe von nur 24594 Fuß, also etwas über eine geographische Meile haben und ihr ganzes Gewicht würde $9\frac{1}{2}$ Trillionen Pfunde betragen. Wollte man die Gränze der Atmosphäre dahin setzen, wo die mit der Höhe zunehmende Zentrifugalkraft der Schwere das Gleichgewicht hält, wo also ein zur Erde nicht mehr unmittelbar fallender Körper sich in 24 Stunden um sie drehen würde, was bei 6,6 Erdhalbmessern geschehen würde, so wäre sie 5676 Meilen hoch. Nach der Berechnung von Laplace beträgt die Höhe, in welcher die Schwer- und die Fliehkraft einander das Gleichgewicht halten, 4860 Meilen. — Setzte man die Gränze dahin, wo die spezifische Elastizität der Luft mit der Schwere ins Gleichgewicht kommt, so würde sie unter dem Aequator bei 22,4° R.

mittlerer Temperatur 27,5 Meilen, unter den Polen bei 0° Temperatur 7,1 Meilen hoch sein. — Wenn die Dichtigkeit der Luft in höheren Regionen nach denselben Gesetzen abnähme, wie in tieferen; so würde schon in einer Höhe von 16000 Fuß ihre Dichtigkeit nur etwa zwei Drittel von der an der Erdoberfläche betragen und würde in einer Höhe von 30 geographischen ¼ Billionen mal dünner sein, als an der Erdoberfläche, also eine über alle Vorstellung gehende Zartheit besitzen, so daß dort der Begriff körperlicher Luft eigentlich verschwindet.

Bestimmtere Angaben über die Höhe der Atmosphäre erhalten wir, wenn wir uns auf bestimmte durch sie noch bewirkte Erscheinungen berufen, namentlich auf die Fähigkeit, die Lichtstrahlen der Gestirne von ihrer gradlinigen Bahn abzulenken oder Refraktion zu erzeugen. Da die Dämmerung bereits beginnt, wenn der Mittelpunkt der Sonne noch 18° unter dem Horizonte ist, so müssen wir der Atmosphäre noch bis auf eine Höhe von etwa 10 geographischen Meilen den Beginn der ablenkenden Kraft beilegen. Bemerkenswerth ist auch, daß man den Knall eines in einer Höhe von 50 englischen Meilen zerplatzenden Meteors an der Erdoberfläche noch gehört hat; also muß es dort noch Luft geben, welche fähig ist, den Schall fortzupflanzen. — Mit guten Luftpumpen kann man aus einer Glasglocke die Luft soweit herausbringen, daß der Rest nur noch eine Quecksilbersäule von ½ Linie zu tragen vermag. Man nennt dann die Glocke zwar luftleer, sie ist es aber nicht vollständig. Die Atmosphäre hat in einer Höhe von 7,43 Meilen grade nur noch dieselbe Dichtigkeit oder Spannkraft, wie in der Glocke. Andere als eben nur solche relative Angaben lassen sich über die Höhe der Atmosphäre nicht machen.

Man hat aber auch noch eine andere Frage aufgeworfen, nämlich ob Sonne und Mond nicht auch auf das Luftmeer der Erde einen ähnlichen Einfluß geltend machen, wie auf das Wassermeer, d. h. eine Ebbe und Fluth erzeugen (Bd. I. S. 131). Die Theorie beweist und die Erfahrung bestätigt zwar diesen Einfluß, aber derselbe beträgt unter dem Aequator im Mittel nur so viel, als einem Barometerstande von ¼ pariser Linie (0,25 bis 0,28) entspricht. In Paris bewirkt der Einfluß der Sonne eine Barometererhöhung von nur 0,804 Millimetern über den niedrigsten Stand, welcher nachmittags 3 Uhr stattfindet und der Einfluß des Mondes in den Syzygien beträgt nur 0,0556 Millimeter (nachm. 3 Uhr 11 Min. 40 Sek.).

Von den außerordentlich mannigfaltigen Erscheinungen, welche die Atmosphäre darbietet, betrachten wir hier vorzüglich nur noch die Wärmeverhältnisse, ihre Ursachen und die daraus abgeleiteten klimatischen und Witterungszustände. Die erste Frage ist: welchen Einfluß hat die Sonne?

Obwohl die ganz reine atmosphärische Luft uns nicht sichtbar ist, so ist sie doch nicht völlig durchsichtig, sondern hält von dem von der

Sonne ausgehenden Lichte um so mehr zurück, je tiefer die Sonne am Horizonte steht. Clausius hat darüber sehr genaue Untersuchungen angestellt und gibt u. a. folgende Uebersicht:

Stand der Sonne über dem Horizonte.	Ungeschwächtes Sonnenlicht.	Durch die Atmosphäre geschwächtes Sonnenlicht.	Durch die Atmosphäre zurückgeworfenes Sonnenlicht.	Das zur Erde gelangende Sonnenlicht.
90°	1000	750	186	936
30°	500	281	138	420
10°	175	33	67	100

Wenn also die Sonne bei ganz heiterer Atmosphäre im Scheitelpunkte oder 90° über dem Horizonte steht, und man nimmt die absolute oder ungeschwächte Lichtstärke der Sonne gleich 1000 an, so ist das auf gradem Wege bis an die Erdoberfläche gelangende Licht 750, indem 250 durch die Atmosphäre verloren geht; davon wird 186 von der Atmosphäre zurückgeworfen und gibt uns die Tageshelligkeit an, so daß wir imganzen 750 + 186 = 936 genießen und nur 64 überhaupt verloren geht. — Steht die Sonne 30° über dem Horizonte, so müßten wir an der Erdoberfläche von den 1000 bei 90° direkt nur 500 erhalten, wenn nichts verloren ginge; wir empfangen aber in der That nur 281 und es gehen uns von diesen 500 noch verloren 500 — 281 = 219, also verhältnißmäßig mehr, als im ersten Falle, weil das Licht hier einen größeren Weg zurücklegen muß als dort. Davon kommen uns aber noch 138 als Tageshelle zugute, so daß wir imganzen 281 + 138 = 419 genießen und 500 — 419 = 81 überhaupt verlieren, während der ganze Verlust im ersten Falle nur 64 war. — Bei 10° Sonnenhöhe wird mehr als doppelt so viel Licht von der Luft zurückgeworfen (nämlich 67), als unmittelbar zur Erde gelangt (33). Da wir aber von den 175 zu uns gelangenden Strahlen imganzen 33 + 67 = 100 genießen, so gehen für diesen Fall 75 verloren.

Wir erkennen also, daß die atmosphärische Luft allein schon ohne das Vorhandensein von Dünsten auf die Beleuchtung der irdischen Gegenstände und demnächst auch auf deren Erwärmung durch die Sonne einen höchst wichtigen Einfluß hat. Denken wir einmal die Atmosphäre weg, so verschwinden alle die herrlichen Lichterscheinungen (der Regenbogen, das Morgen- und Abendroth, das Himmelsblau und die anderen); in dem Schatten eines Gegenstandes ist absolute Nacht, wenn nicht etwa von Gegenständen der Oberfläche dahin Strahlen zufällig zurückgeworfen werden; Morgen- und Abenddämmerung fehlen und es tritt der grellste

Wechsel zwischen Tag und Nacht ein; der Himmel erscheint stets in dem tiefsten Schwarz und die Sterne bleiben stets sichtbar. Wozu indeß wollen wir dieses Bild noch weiter ausmalen, da ohne Atmosphäre die Existenz aller organischen Wesen absolut unmöglich wäre!

Wenn wir nun nach den bewegenden Kräften für alle Erscheinungen in der Atmosphäre fragen, so werden wir mit Ausnahme der rein optischen und derer, welche sich auf den statischen Druck beziehen, auf die Wärme hingewiesen. Die Sternschnuppen und Aerolithen gehören unserer Atmosphäre nicht an, wenn erstere auch nicht selten, letztere stets in dieselbe treten Es gibt aber für die hierher gehörigen Erscheinungen nur zwei Wärmequellen: die Erde selbst und die Sonne.

Die Erde selbst ist im Laufe der Zeiten und nachdem sie drei wesentliche Bildungsepochen überstanden hat, an ihrer Oberfläche bereits so bedeutend abgekühlt, daß ihre innere Wärme nur noch an wenigen Stellen, nämlich an den etwa 225 noch thätigen Vulkanen und Erdbränden, hervortritt. In einer gewissen nach den geographischen Breiten und örtlichen Verhältnissen sich richtenden Tiefe ist zu allen Zeiten dieselbe unveränderliche Temperatur und daher beschränkt sich das Ein- und Ausströmen der atmosphärischen Luft nur auf diese äußerste, nur wenige Fuß tiefe Kruste der Erde. Die innere Erdwärme vermehrt die Temperatur an der Oberfläche etwa nur um $1/30$ Grad C. Wenn sich die Erdwärme im Laufe der Jahrtausende vermindert hat, so ist dieses keine Folge von der veränderten Stellung der Erde zur Sonne, weil sowohl die Schwankungen der Erdaxe gegen ihre Bahn um die Sonne, als auch die Verwandlung der elliptischen Form (Bd. I. S. 14) mehr und mehr in eine Kreisbahn oder die Verminderung der Excentrizität (Entfernung der beiden Brennpunkte) höchst unbedeutend sind. Der Grund davon liegt in der Ausstrahlung in den Weltraum.

In dem Keller des Observatoriums zu Paris ist bei einer Tiefe von etwa 27 Metern bereits seit einem Jahrhunderte dieselbe Temperatur von 11,82° C. beobachtet worden. Alle Quellen, welche in einer größeren Tiefe liegen, als daß ihr Wasserzufluß von der porösen Erdoberfläche durch Sinterung geschehen könnte, haben eine beständige Temperatur. Die heißen Quellen am Fuße hoher Gebirge kommen aus nach oben gehobenen ursprünglich tief gelegenen Schichten. Der Geiser auf Island hat eine Temperatur von 100° C., der Sprudel in Karlsbad 69°, die eine Quelle in Aachen 50°, die Salzsoole aus dem 2219,5 Fuß tiefen Bohrloche zu Neusalzwerk bei Preußisch-Minden eine beständige Temperatur von 18,5° R. = 23° C., wobei die mittlere Bodentemperatur 8° R. beträgt.

Wenn man von den Orten mit beständiger Temperatur tiefer in den Erdboden eindringt, so wird es fortwährend wärmer. Dieses hat sich namentlich in allen Theilen der Erde bei der Bohrung von artesischen Brunnen gezeigt und ließ sich schon aus dem Vorhandensein heißer

Quellen an solchen Orten vermuthen, in denen eine vulkanische Thätigkeit nicht mehr hervortritt. Ueberdies aber ergibt es sich als eine Nothwendigkeit, wenn wir auf die Entstehungsgeschichte der Erde zurückgehen.

Bei Walferdin (Departement Saône et Loire) zeigte das eine Bohrloch bei 554 Meter Tiefe 27,22° C., das andere bei 816 Meter Tiefe 38,31° C.; also auf 23,6 M. = 75 rheinl. Fuß eine Zunahme von 1° C. — Der 2247 pariser Fuß tiefe Brunnen von Mondorf hat am Boden 27,63° C., also 1° C. Wärmezunahme auf je 31,04 Meter = 98,89 rheinl. Fuß. — Bei dem Brunnen von Grenelle wächst die Temperatur schon bei je 90 Fuß Tiefe um 1° C. — Geschähe die Wärmezunahme nach dem Erdinneren regelmäßig für 90 bis 100 Fuß Tiefe um je 1° R., so müßte in einer Tiefe von 12000 Fuß oder einer halben Meile schon eine Wärme von 100°, bei einer Tiefe von 7 Meilen würde das Eisen, dessen Schmelzpunkt die Temperatur von 1600° hat, in einem geschmolzenen Zustande vorhanden sein. Da Platin bei 6000° R. schmilzt, so mag dieses wohl die ursprüngliche Temperatur der Erde gewesen sein. In Kalifornien ist bis jetzt das größte Stück gediegenen und durch Schmelzung bei 1200° entstandenen Goldes mit einem Werthe von etwa 18000 Dollar gefunden worden.

In der kalten Zone findet nach unten zwar auch eine Wärmezunahme statt, aber in geringerem Maße. In Sibirien (Jakutzk) ist die mittlere Temperatur bei 7 Fuß Tiefe — 8,94° R., bei 100 Fuß Tiefe — 5,22°, bei 200′ Tiefe — 3,88°, bei 300′ Tiefe — 3,11° und würde erst bei 1000° gleich Null sein. Im Sommer thaut davon eine Schicht für die Vegetation auf.

Die Temperatur der oberen, durch die Sonne beeinflußten Kruste der Erde nimmt von der Oberfläche an nach der Tiefe in der wärmeren Jahreszeit schneller ab, in der kälteren schneller zu bis zu dem Punkte, in welchem das ganze Jahr eine beständige Temperatur stattfindet.

Wenn auch die Zunahme der Temperatur nach dem Erdinneren eine feststehende Thatsache ist, so darf man daraus noch keineswegs den Schluß ziehen, daß in einer gewissen Tiefe noch eine fortwährende Gluth vorhanden sein müsse; denn es fehlt in großen Tiefen jedenfalls an der zur Unterhaltung derselben nöthigen Bedingung, nämlich dem Sauerstoffe, und wäre sie wirklich vorhanden, so würde durch sie wegen des damit verbundenen Bestrebens der Ausdehnung der Zusammenhang der Erdrinde zerstört werden. Nur durch die Essen der Vulkane kann an einzelnen Stellen unter dem Einflusse chemischer Verhältnisse noch eine sehr hohe Temperatur erhalten werden.

Ob aber und inwiefern die innere Erdwärme auf die meteorologischen Erscheinungen von Einfluß ist, darüber fehlt es noch ganz an Erfahrungen. Da die Bewegungen der Erde um ihre Axe und um die Sonne keine Veränderungen erleiden und dieselbe auch im Weltraume,

indem sie mit der Sonne fortwandert, ihre Stellung gegen die anderen Gestirne nicht wesentlich ändert; so ist man versucht, die große Verschiedenheit in den Erscheinungen der einzelnen Jahre nicht blos auf die Rechnung der Sonne zu bringen, sondern in einer Wechselwirkung des Erdkörpers mit seiner Atmosphäre zu suchen. Es ist freilich auch möglich, daß die in der Sonnenatmosphäre vorgehenden großartigen Veränderungen, welche sich in den Erscheinungen der Sonnenflecken abspiegeln, von Einfluß sind und daher hat man sich in der neuesten Zeit, unterstützt durch wiederholt in kurzen Zwischenzeiten aufgenommene photographische Darstellungen, eifrig bemüht, Beobachtungen zu machen, aus denen sich in späteren Zeiten vielleicht werden sichere Schlüsse ziehen lassen. Bis jetzt will man eine etwa zehnjährige Periode in dem Erscheinen von Sonnenflecken gefunden haben, welche mit einer eben solchen Periode in den Veränderungen des Erdmagnetismus zusammenhängt. Die Witterungsverhältnisse aber werden, wenn man sie mit den Veränderungen der Sonnenatmosphäre in Beziehung setzen will, gewiß größere Schwierigkeiten machen, weil sie viel zusammengesetzterer Natur sind.

In den Meeren der heißen und der gemäßigten Zonen nimmt die Temperatur nach unten zu bis zu einem gewissen Grade ab. In den Polarmeeren würde ohne Berücksichtigung der Erdwärme und der Meeresströmungen die Temperatur auf dem Grunde die des Wassers bei seiner größten Dichtigkeit, also 4° C. sein, aber sie ist sicher noch etwas höher.

Für unsere Betrachtungen ist die zweite, und zwar in der Sonne liegende Wärmequelle vorzüglich wichtig. Wir müssen hierbei die unmittelbar von der Sonne ausgehende Erwärmung von der durch die Sonne an irdischen Körpern erregten Wärme unterscheiden.

In der Sonnenatmosphäre findet ein Verbrennungsprozeß statt. Durch diesen wird der umgebende Weltäther in schwingende Bewegung gebracht und hat unmittelbar an der Sonne eine bestimmte Schwingungskraft. Da die Schwingungen durch einen isomorphen oder nach allen Richtungen gleichmäßig beschaffenen Stoff, den Weltäther, fortgepflanzt werden, so nimmt die Kraft ab, wie die Quadratzahlen der Entfernung von der Sonne zunehmen (Bd. I. S. 58). Da nun die Erde in unserem Sommer weiter von der Sonne entfernt ist, als im Winter, so muß die Gesammtwärme, welche die Erde von der Sonne empfängt, in jenem Falle geringer sein, als in diesem. Dafür aber geht die Erde in ihrer Bahn während dieser Zeit langsamer, als in unserem Winter, so daß dadurch wieder eine Ausgleichung geschieht. Da aber die Erde während des Sommers ihrer Südhälfte der Sonne am nächsten ist, so zeigt sich auf der südlichen Halbkugel ein greller und der Gesundheit gefährlicher Unterschied der Wärme im Schatten und im Freien. Die mittlere Jahreswärme beträgt zu Melbourne im Freien

17,48°, im Schatten 11,54°; zu Adelaide im Freien 23,97°, im Schatten 14,65°; zu Adelaide ist der Unterschied im März und April im Mittel 10,55° (nämlich 48,95°—18,40° und 24,11°—13,56°. Manche Reisende nennen die Differenz bisweilen schreckenerregend. Auch auf hohen Bergen ist der Unterschied der Wärme im Schatten eines Gegenstandes und außerhalb desselben größer, als in tieferen Gegenden.

Diese Verhältnisse aber sind für die meteorologischen Erscheinungen so unbedeutend, daß sie vernachlässigt werden können; entscheidend vielmehr ist die durch die Sonne in den irdischen Körpern hervorgerufene Wärme, wovon wir bei der Insolation schon gesprochen haben. Es kommt hierbei auf den Stand der Sonne über dem Horizonte des Beobachtungsortes, auf den Winkel, unter welchem die Gränzflächen eines Körpers an der Erdoberfläche getroffen werden und auf die Beschaffenheit der Körper selbst an.

Wenn wir vorläufig die letzten zwei Umstände unberücksichtigt lassen, so ist sofort klar, daß hierbei die geographische Lage eines Ortes und die Länge des Weges, welchen die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre von bestimmter Beschaffenheit zurückzulegen haben, von wesentlicher Bedeutung sind. Wie bei jeder Kraft, so gilt auch bei der durch die Sonnenstrahlen ausgeübten das Gesetz, daß sie nur dann ganz zur Wirkung gelangen, wenn sie senkrecht auftreffen, daß aber ein um so größerer Antheil verloren geht, je kleiner der Winkel ist, unter welchem sie wirken.

Weil die Erdaxe beständig unter einem Winkel von 66½° gegen die Bahn der Erde um die Sonne geneigt ist, hat die Ekliptik gegen den Aequator eine Neigung von 23½°, so daß also ihre vom Aequator sich am meisten entfernenden Punkte auch 23½° von ihm abstehen. Die Ekliptik aber bezeichnet alle Punkte der Erdoberfläche, in denen die Sonne jeden Mittag um 12 Uhr im Laufe eines Jahres senkrecht steht. In den äußersten Punkten der Ekliptik, durch welche die beiden Wendekreise gehen, geschieht dies jährlich einmal (an unserem längsten und am kürzesten Tage); in allen übrigen zweimal (in den beiden Durchschnittspunkten mit dem Aequator zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche). Da aber auch in den anderen Zeiten des Jahres der Winkel, unter welchem in dieser Zone die Sonnenstrahlen den Horizont treffen, sich wenig von einem rechten, und zwar höchstens um 23½°, entfernt; so ist die Erwärmung der Erdoberfläche und der darüber befindlichen Atmosphäre eine sehr bedeutende, weshalb diese Zone auch die heiße genannt wird. Da in ihr die Länge der Tage und Nächte von einander nicht sehr verschieden ist, so sind auch die Unterschiede zwischen der größten und geringsten Wärme nicht sehr bedeutend.

Mit wechselnder geographischer Breite wächst auch der Unterschied zwischen der höchsten und tiefsten Stellung der Sonne über dem Horizonte im Laufe eines Jahres und der Unterschied in der Länge der Tage

und Nächte, also auch der Temperaturunterschied. Da für jeden der beiden Pole die Sonne während der einen Hälfte des Jahres über dem Horizonte steht und dabei als größte Höhe $23\frac{1}{2}°$ erreicht, während der anderen Hälfte darunter und höchstens auch nur $23\frac{1}{2}°$, so verschwinden die Unterschiede der Tagestemperaturen (während einer einmaligen Axendrehung) ganz und es bleiben nur die der Jahrestemperaturen, welche aber nicht sehr bedeutend sein können, besonders wenn dort nur Meere vorhanden sind.

Da die Tageslängen von wesentlichem Einflusse auf die Entwickelung der Wärme sind, so hat man die Erdoberfläche durch Parallelkreise vom Aequator an so in 24 Zonen getheilt, daß der längste Tag von Zone zu Zone um $\frac{1}{2}$ Stunde zunimmt, bis er 24 Stunden währet, und dann bis zu den Polen noch 6 Zonen angenommen, in denen die Zunahme des längsten Tages einen Monat beträgt. Dieses ist das sogen. mathematische Klima, von welchem die auf der nächsten Seite stehende Tabelle, welche mit Abänderung einiger Bogensekunden für dieses Jahrhundert gilt, eine Uebersicht gibt.

Das physikalische Klima, d. h. die auf die Vertheilung der Temperatur nach den Tages- und Jahreszeiten, auf die Niederschläge der verschiedenen Arten und auf die Windrichtungen sich beziehenden Verhältnisse, geht nicht parallel mit dem mathematischen Klima, sondern ist wesentlich abhängig von der Beschaffenheit der Erdoberfläche, also von der Vertheilung von Wasser und Land, von der Beschaffenheit und Erstreckung des letzteren und von der Höhe und Richtung der auf ihm vorhandenen Erhebungen. So liegt die wärmste Gegend der Erde nicht um den Aequator und die kälteste nicht um die Pole. Die wärmste von $+ 24°$ R. mittlerer Jahrestemperatur befindet sich in der Sahara und bildet eine längliche Rundung, von welcher nach Norden die Wärme ziemlich rasch, nach Süden hin langsamer abnimmt, so daß an der Nordküste Afrikas ausnahmsweise schon Schnee und Eis vorgekommen sind, welche in Mittel und Südafrika, außer auf den Gipfeln der höchsten Berge, ganz fehlen. — An Amerikas und Asiens Nordküsten in einer Breite von etwa 72° hat sich das Eis festgesetzt, aber Kean hat bei 82° und Wrangel nördlich von Sibirien das Meer offen gesehen und die vom Nordpole herwehenden Winde wärmer gefunden. Die Kältepole fallen mit den Magnetpolen der Erde zusammen, was mit unserer Theorie und auch mit anderen Erfahrungen übereinstimmt, denn eine nur in der Mitte erwärmte Eisenstange wird an ihren Enden magnetisch, wie es die in der heißen Zone stark erwärmte Erde ist. Der Magnetismus ist eben Mangel an Wärme, weil die Schwingungen fixirt oder aufgehoben sind.

Bei Küstenländern hängt das Klima wesentlich von dem Umstande ab, ob das Meer im Sommer vom Treibeise frei wird oder nicht. Diese Bedingungen hängen aber theils von den herrschenden Windrich-

Klima.	Längster Tag.	Parallelkreis.	Orte, welche auf ihm oder ihm nahe liegen.
	12 Stunden.	0°, Aequator	Insel St. Thomas, Marañon-Mündungen, Quito.
1.	12½ =	8°34′31″	Kap Sierra-Leone, Orinoko-Münd., Panama, Pernambuko.
2.	13 =	16°44′56″	Senegal-Münd., Tombuktu, Nikaragua, St. Helena.
3.	13½ =	24°13′ 7″	Indus-Münd., Insel Guanahani, Kanton.
4.	14 =	30°49′35″	Kairo, Jerusalem, Modagor, Savannah.
5.	14½ =	36°32′35″	Kadix, Algier, Tunis, Richmond.
6.	15 =	41°25′23″	Porto, Barzelona, Gaëta, Konstantinopel.
7.	15½ =	45°32′38″	Rochefort, Lyon, Venedig, Ismail.
8.	16 =	49° 3′37″	Rheims, Regensburg.
9.	16½ =	52° 1′18″	Amsterdam, Magdeburg, Warschau.
10.	17 =	54°31′54″	Schleswig, Danzig, Wilna, Kaluga.
11.	17½ =	56°39′47″	Kalmar, Mitau, Nischnej-Nowgorod.
12.	18 =	58°28′35″	Norrköping, Dorpat, Wjätka.
13.	18½ =	60° 1′13″	Bergen, Upsala, Petersburg.
14.	19 =	61°20′ 6″	Söderham, Björneborg.
15.	19½ =	62°27′ 7″	Hernösand.
16.	20 =	63°23′51″	Drontheim.
17.	20½ =	64°11′31″	Archangel.
18.	21 =	64°51′ 7″	Skeleftea.
19.	21½ =	65°23′27″	Lulea.
20.	22 =	65°49′ 9″	Torneä.
21.	22½ =	66° 8′38″	Kalix.
22.	23 =	66°22′21″	Ober-Torneä.
23.	23½ =	66°30′21″	
24.	24 =	66°32′35″	Jukasjärvi.
25.	1 Monat.	67°20′	Gellivare.
26.	2 =	69°38′	Tromsöe.
27.	3 =	73°15′	Mellville-Insel.
28.	4 =	77°54′	Spitzbergen.
29.	5 =	82°55′	Der äußerste bisher (von Kean) erreichte Punkt.
30.	6 =	90°, Pol.	

tungen, theils von den Meeresströmungen ab. Die Küsten Norwegens z. B. verdanken ihr der geographischen Breite nicht entsprechendes mildes Klima vorzüglich dem Einflusse eines Zweiges des warmen Golfstromes. Die Nähe des Meeres überhaupt vermindert die Winterkälte und Sommerwärme; denn das Wasser ist ein viel schlechterer Wärmeleiter, als das Festland, es behält also die im Sommer angenommene Wärme länger, als dieses, und theilt sie im Winter ihm mit, mäßigt also die Kälte; im Sommer aber entwickelt die Wärme aus dem Wasser eine ziemlich große Menge von Dünsten, welche dem Wasser die Wärme sehr entziehen, so daß es kühler bleibt, als das benachbarte Festland und auf dieses abkühlend wirkt. Dazu kommt noch, daß die Wärmekapazität (Bd. II. S. 115) des Wassers ungefähr 5mal größer ist, als die des Festlandes, so daß also der Wärmeverlust im Winter und die Zunahme im Sommer beim Wasser geringer ist, als beim Lande. Endlich hat die mildere Wintertemperatur bei Küstenländern und Inseln (England) ihren Grund noch in der bedeutenderen Bedeckung mit Dünsten und Nebeln, welche es verhindern, daß der Erdkörper seine Wärme durch Ausstrahlung verliert, was wohl auch für die Polarzonen gelten wird.

Ferner ist für das Klima einer Gegend wichtig die Gestalt, Beschaffenheit, Höhe und Richtung der Gebirge. Tiefe Kesselthäler oder auch stark gewundene und kalten Winden nicht ausgesetzte Thäler, z. B. in den Alpen und den norwegisch-schwedischen Gebirgen, sind oft sehr warm. Christiania hat ein sehr mildes Klima, weil es ringsum vor kalten Winden durch das Gebirge geschützt und nur nach Süden offen liegt. Das Ghatsgebirge in Indien scheidet eine trockene und eine nasse Jahreszeit voneinander, die abwechselnd östlich und westlich von ihm stattfinden. Die Gebirgsketten an der ganzen Westküste Amerikas sind für die Niederschläge auch entscheidend, weil die mit Westwinden vom stillen Ozeane ankommenden Dünste an der Westseite des Gebirges in ungeheuren Regenmassen sich ablagern, was dann für das östlich gelegene Festland sehr trockene Winde gibt. Sind Gebirge kahl, so gewähren sie weniger Schutz gegen Winde und es bilden sich an ihnen weniger befruchtende Niederschläge, als wenn sie mit Wäldern gekrönt sind. Oft haben die Abhänge der Gebirge ungeachtet derselben absoluten Höhe über dem Meeresspiegel je nach der Weltgegend ein verschiedenes Klima. In unserer Halbkugel liefern die Mitternachtseiten aller Gebirge im Sommer mehr Niederschläge, als die Mittagseite. In den Alpen z. B. liegt die Schneegränze an dem Nordabhange tiefer, als an der Südseite (dort 7500 bis 8000, hier etwa 8500 Fuß); im Himalaja-Gebirge aber liegt sie an der Nordseite höher, als an der Südseite (dort 16000, hier 12000 Fuß); in den nördlichen Kjölen hat sie eine Höhe von 2000, in den südlichen von 3—4000 Fuß. — Durch das Erlöschen von bedeutenden Vulkanen und das Aufhören von Erdbeben wird das Klima der Umgegend und selbst ganzer Länderstrecken kälter. Der verhältnißmäßig

blühende Zustand Grönlands und die in Island vor 7—800 Jahren herrschende Bildung waren nur bei einem milderen Klima, als es jetzt dort herrscht, möglich. Die veränderliche Lage der Magnetpole der Erde, welche zugleich die Kältepole sind, mag daran auch ihren Theil haben. Die äußerst heftige und anhaltende Kälte von Jakutsk und Saschiwersk herrscht weder östlich noch westlich in gleicher geographischer Breite.

Zu diesen die klimatischen Verhältnisse an sich schon sehr verwickelnden Umständen kommt noch die sehr ungleiche Erregung der Wärme in den verschiedenartigen Körpern durch die Sonnenstrahlen. Wäre ein Körper absolut durchsichtig, so würde die Sonne in ihm Wärme nicht erregen. Die reine atmosphärische Luft kommt dieser Bedingung nahe und deshalb wird in ihr durch die Sonne sehr wenig Wärme erregt. Selbst nicht einmal in dem Brennpunkte eines Brennglases geräth sie in eine flimmernde Bewegung, wie etwa über einer glühenden Kohle; sie vermag dort auch nicht Wasser zum Kochen zu bringen, obwohl sie es erwärmt, aber ein Metall zu schmelzen ist sie wohl fähig. Die Sonne erregt also Wärme fast nur in den dunklen Körpern der Erdoberfläche und die Atmosphäre erhält ihre Wärme fast ausschlüßlich von dem festen Erdkörper unter ihr, nicht von der Sonne über ihr. Die Sonnenstrahlen verlieren durch die Atmosphäre höchstens drei Zehntel von ihrer erwärmenden Kraft, welche sie auf dem Erdkörper ohne Atmosphäre haben würden. Je mehr dieser erwärmt wird, desto mehr auch jene unmittelbar über ihm. Die Erwärmung der festen Körper hängt aber theils von ihrer Farbe, theils von der Beschaffenheit und Lagerung ihrer Stofftheile ab. Liegen auf einer Schneefläche Tuchflecken aus demselben Stücke, aber von verschiedener Färbung von Weiß durch verschiedene Stufen bis ins Schwarz und scheint die Sonne auf sie; so schmilzt der Schnee unter dem schwarzen Flecken am meisten, unter dem weißen am wenigsten, weil in jenem die Sonne die größte, in diesem die geringste Wärme erregt. Dort werden also die Lichtschwingungen des Weltäthers eher verwandelt in Wärmeschwingungen des irdischen Körpers, als hier, wo die Lichtschwingungen mehr zurückgeworfen werden, als eindringen. In letzterer Beziehung unterscheiden sich auch feste Körper von losen mit denselben Bestandtheilen. Ein fester Sandstein wird weniger leicht erwärmt, als loser Sand, weil in dem letzten Falle die Schwingungen leichter eindringen können. Daher rührt auch die ungeheure Hitze in den Sandwüsten. Wenn man bei Gletschern oft ziemlich bedeutende Vertiefungen wahrnimmt, so sind sie durch dunkles Steingerölle entstanden, welches durch die Sonne in das Eis geschmolzen ist. — Die Zerrissenheit des Festlandes, seine sehr ungleiche Erhebung über den Meeresspiegel und seine große natürliche Verschiedenheit bringen also in die ursprünglich einfachen Verhältnisse eine große Mannigfaltigkeit.

Wenn nun auch aus diesen Umständen klar ist, daß das physische Klima nicht nach dem durch Parallelkreise abgegränzten mathematischen sich richtet, so werden jedem bestimmten Orte doch gewisse Witterungsverhältnisse eigenthümlich sein; denn wie verschieden auch der Winkel ist, unter welchem die Sonnenstrahlen seinen Horizont bescheinen, so muß doch die Gesammtwirkung innerhalb der einzelnen Jahre und der gleichnamigen Monate oder kleinerer, namentlich fünftägiger Abschnitte verschiedener Jahre, eine sich ziemlich gleichbleibende sein, da ja die wirkenden Ursachen sich nicht ändern. Man kann also von einem Orte z. B. sagen: er hat ein warmfeuchtes oder trockenkaltes, ein See- oder Küstenklima.

Die Gesammtwärme, welche an einem bestimmten Orte während eines ganzen Jahres vorkommt, wird im allgemeinen auch eine sich ziemlich gleichbleibende sein, da die Verschiedenheit der Winkel, unter denen die Sonne in den verschiedenen Tages- und Jahreszeiten den Ort bescheint, in jedem neuen Jahre immer wieder dieselbe ist. Daraus folgt also, daß jeder Ort eine bestimmte mittlere Jahrestemperatur hat, von welcher nur selten bedeutende Abweichungen stattfinden können. Größer können die Abweichungen für die einzelnen Monate oder noch kleinere Zeiträume, namentlich für einzelne bestimmte Tage sein. Aehnlich ist es auch mit dem Luft- und Dunstdrucke.

Die tägliche mittlere Temperatur könnte man dadurch bestimmen, daß man die Hälfte der Summe des höchsten und tiefsten Standes, nach den Beobachtungen am Thermometrographen (Bd. II., S. 112), an dem betreffenden Tage nähme. Weil aber besondere Umstände es bewirken können, daß entweder die höheren oder tieferen Temperaturen eine längere Zeit anhalten, so erhält man durch diese zwei Beobachtungen noch keine ganz sicheren Resultate, wiewohl sie selten von dem wirklichen Mittel bedeutend abweichen. Sie werden um so zuverlässiger, in je kürzeren Zeiträumen man beobachtet. Da ein stündliches Beobachten auf die Dauer äußerst mühevoll ist, so hat man sich bemüht, diejenigen drei Zeiten eines Tages ausfindig zu machen, in denen die Beobachtungsresultate ein genaueres Mittel geben. Es haben sich bewährt 6 Uhr früh, 2 Uhr mittags und 10 Uhr abends. Werden diese drei an einem Tage gemachten Beobachtungen addirt und durch 3 dividirt, so hat man das Mittel dieses Tages. Werden fünf Tagesmittel addirt und durch 5 dividirt, so bekommt man das fünftägige Mittel; werden die Tagesmittel eines Monats addirt und durch die Anzahl der Tage des Monats dividirt, so ist der Quotient das monatliche Mittel und werden endlich die zwölf Monatmittel addirt und durch 12 dividirt, so erhält man das Jahresmittel.

Die einem bestimmten Orte und einer bestimmten Zeit für diesen Ort zukommenden Mittel erhält man richtig noch nicht aus den Beob-

achtungen blos eines Jahres; es ist nothwendig, die Resultate für eine größere Reihe von Jahren, etwa 15 bis 20, zu benutzen.

Weil in der heißen Zone die Sonnenstrahlen im Laufe der verschiedenen Jahreszeiten gegen den Horizont zu derselben Tageszeit fast dieselbe Lage haben, so treten alle Erscheinungen recht deutlich und einfach hervor; nach den Polen hin werden sie durch die größere Verschiedenheit in jener Lage immer mehr verwischt und das Gesetzmäßige in den Erscheinungen kann erst durch eine lange Reihe von Beobachtungen ermittelt werden

Wenn man nun die Orte an der Erdoberfläche, welche eine gleiche mittlere Jahrestemperatur haben, durch Linien verbindet, so erhält man die Isothermen. Sie laufen mit den Parallelkreisen der Erde durchweg nicht parallel, sondern durchschneiden sie oft und unter den verschiedensten Winkeln.

Nun ist aber auch noch klar, daß Orte, welche einerlei mittlere Jahrestemperatur besitzen, durchaus noch nicht einerlei Klima haben müssen, denn diese Temperatur kann sich bei verschiedenen Orten auf dieselben Jahreszeiten sehr ungleich vertheilen. Die mittlere Jahrestemperatur von z. B. 7° Wärme kann ebensowohl aus 12° Sommerwärme und 5° Winterkälte, als aus 20° Wärme für den Sommer und 13° Kälte für den Winter entstanden sein und es werden sich die Sommer wie auch die Winter beider Orte sehr bedeutend von einander unterscheiden. Man darf also auch nicht meinen, daß Orte mit gleicher Jahrestemperatur auch gleich fähig sind, Pflanzen derselben Art gleich gut gedeihen zu lassen. Ist eine gewisse Summe von Wärme, welche zum Gedeihen einer bestimmten Pflanze nothwendig ist, auf einen kurzen Sommer mit heißen Tagen zusammengedrängt, so kann sie in ihm ebensogut zur Reife gelangen, als in einem langen Sommer mit geringerer Wärme an den einzelnen Tagen. Sie muß sich mit ihrem Wachsthume in jenem Falle natürlich mehr beeilen, als in diesem. Bei der Beurtheilung der für die Entwickelung einer Pflanze nothwendigen Wärme ist aber die Beachtung blos der gewöhnlich beobachteten Schattenwärme unzureichend, es muß vielmehr die bei der Insolation vorhandene Wärme und die freie Ausstrahlung berücksichtigt werden, ja sogar die Temperatur tieferer Erdschichten.

Diese und ähnliche Betrachtungen sind für die Pflanzengeographie und Akklimation von praktischem Interesse. In letzterer Beziehung kommt es freilich auch noch auf den herrschenden Feuchtigkeitszustand der Luft, auf die chemische und hygroskopische Beschaffenheit des Bodens, auf die Lage nach den Weltgegenden besonders oder in der Nähe von Gebirgen und auf die Dauer der Tage und Nächte an.

Um also auch nach diesen Richtungen einen genaueren Einblick in die Temperaturverhältnisse der Erdoberfläche zu erhalten, hat man noch zwei Arten von Wärmelinien gezogen, nämlich diejenigen, welche die

Punkte gleicher Sommerwärme und die, welche die Punkte gleicher Winterkälte miteinander verbinden; jene heißen Isotheren, diese Isochimenen. Ihre Lage untereinander und gegen die der Isothermen ist sehr verschieden.

Im allgemeinen gelten in Betreff der Temperaturverhältnisse folgende Sätze:

Die niedrigsten und höchsten Temperaturen im Jahre müssen, jene in der Nähe des niedrigsten, diese in der Nähe des höchsten Standes der Sonne über dem Horizonte des betreffenden Ortes stattfinden.

Die größte Tageskälte fällt kurz vor Sonnenaufgang, indem die Erdoberfläche während der ganzen Nacht ihre Wärme theils der Atmosphäre mittheilt, theils durch Ausstrahlung verliert, wenn es heiter und windstill ist; die größte Tageswärme tritt erst gegen 2 Uhr mittags ein, nachdem die Wirkung der Sonne bei ihrem höchsten Stande erst allmählig zur Geltung gekommen ist. Wenn auch für die Polarzone die Sonne noch nicht über den Horizont steigt, so zeigt sich um unsere Mittagszeit eine Erhöhung der Temperatur oder eine Art Wärmedämmerung.

In der Nähe des Aequators ist der Unterschied der höchsten und tiefsten Temperatur im Laufe eines Jahres geringer, als in größeren Breiten.

Von dem Aequator nach den Polen zu nimmt die Gesammttemperatur anfänglich langsam, dann schneller und zuletzt wieder langsamer ab. Orte, welche also gleich hoch über dem Meeresspiegel liegen, müssen mit zunehmender geographischer Breite eine bis zu einer gewissen Gränze abnehmende mittlere Temperatur haben.

Die mittlere Jahrestemperatur weicht in der heißen Zone in den verschiedenen Jahren nicht um einen Grad ab, mit wachsender geographischer Breite aber immer mehr.

Die Unterschiede der Sommerwärme sind in den verschiedenen Zonen viel kleiner, als die Unterschiede der Winterkälte.

Im Inneren der Kontinente, besonders Asiens, ist der Unterschied zwischen den Temperaturen im Sommer und im Winter am größten; geringer in den Küstenländern der Kontinente, noch kleiner auf den Inseln und am unbedeutendsten im Meere. So z. B. beträgt der Unterschied zwischen der größten Sommerwärme und strengsten Winterkälte in Jakutzk 64° C., an der Südküste Englands etwa nur 10° C.

Die Ostküsten sind unter gewissen Breiten kälter, als die Westküsten, vorzüglich durch die Winterkälte. In den Tropen ist dieser Unterschied am kleinsten. Wird er vernachlässigt, so ist die Lufttemperatur an den Küsten im Mittel 22,6° R. und auf der hohen See nur 20,4° R. Für den atlantischen Ozean gibt man 21,3°, für den stillen 22,7° R. an. Mit wachsender Breite tritt ein oft auffallender Unterschied hervor. So z. B. ist in dem Hafen von New-

York nicht selten Eis, aber bei Neapel unter derselben Breite ist das Meer an der Küste noch nie zugefroren gewesen. In Kanton ist öfter Frost, als in Lissabon und Kadix.

Die südliche Halbkugel der Erde ist um fast 2 Grade kälter, als die nördliche; denn für jene beträgt die mittlere Temperatur kaum 14°, für diese über 15°. Dieses liegt in der überwiegenden Ländermasse der nördlichen Halbkugel, durch welche mehr sogenannte freie Wärme entwickelt wird, während in der südlichen die aus den überwiegenden Wassermassen entwickelten Dünste mehr sogen. gebundene Wärme enthalten. Wir werden also immerhin sagen können, daß die Summe der freien und gebundenen Wärme in jeder der beiden Halbkugeln dieselbe ist.

Die Unterschiede der Winter- und der Sommertemperatur sind auf der südlichen Halbkugel bedeutend kleiner, als auf der nördlichen, was ebenfalls in der überwiegenden Wassermasse der südlichen Halbkugel seinen Grund hat.

Die festen Bestandtheile der Erdoberfläche gestatten einen schnellen Austausch verschiedener Temperaturen nicht leicht, wohl aber die flüssigen, nämlich die Meere und die Atmosphäre, welche sich daher auch in einer ewigen Bewegung befinden. In dem atlantischen Ozeane ist in dieser Beziehung der Golfstrom bemerkenswerth, welcher zwischen Afrika und Europa einerseits und Amerika andererseits eine Art wirbelnden Kreislauf mit einer ziemlich ruhigen Mitte bildet und in anderem kälteren Wasser gewissermaßen wie in einem Bette dahinströmt, wozu wohl auch die Beschaffenheit des Meeresgrundes das ihrige beiträgt. Ich erinnere mich, daß wir in der Nähe der New-Foundland-Bänke an eine Stelle kamen, wo das Meerwasser morgens 3 Uhr eine Temperatur von fast —2° R. und wenige Stunden darauf schon +11° hatte. Letzteres Wasser gehörte dem in nordöstlicher Richtung ankommenden Golfstrome an.

Weit schneller aber geschehen die Temperaturausgleichungen durch die so leicht bewegliche Atmosphäre. In den tieferen Schichten nimmt die Luft noch ziemlich theil an den Temperaturschwankungen, aber in den höheren Schichten ist in den verschiedenen Monaten die Temperatur eine viel beständigere, als in den unteren. Bei Luftfahrten fand sich in einer Höhe von 19500 engl. Fuß zwischen dem 17. August und 10. November ein Unterschied von 4° R., während er an der Erdoberfläche 10° R. betrug. Mit der Erhebung in der Atmosphäre nimmt die Temperatur ab, theils weil die Entfernung von dem erwärmten Erdkörper wächst, theils weil die dünnere Luft in höheren Schichten eine größere Wärmekapazität und eine geringere Fähigkeit besitzt, das Licht in Wärme zu verwandeln. — Ueber dem Meere ist es in gleicher Höhe kälter, als über dem Festlande, vorzüglich wegen niedriger Sommertemperatur.

Nach heiteren Tagen findet gegen Abend und in der Nacht eine Wärmezunahme nach obenhin statt, welche bei Sonnenaufgang am größten ist, sich von da an bis gegen 10 Uhr vormittags vermindert und von da an in eine regelmäßige Wärmeabnahme übergeht; denn die Sonnenstrahlen bewirken einen aufsteigenden warmen Luftstrom, welcher die höheren Schichten erwärmt, während nach Sonnenuntergang die Erdoberfläche und die angränzenden Luftschichten durch Strahlung ihre Wärme schnell verlieren und zur Zeit der niedrigsten Tagestemperatur am kältesten sind. Je größer die täglichen Wärmedifferenzen sind, einer desto längeren Zeit bedarf es, ehe eine Ausgleichung mit der Atmosphäre stattfindet. Zwischen 10 Uhr vormittags und 5 Uhr nachmittags ist aber im allgemeinen das richtige Verhältniß hergestellt.

Gleichwie die Stürme des Meeres die Gewässer desselben nicht auf große Tiefen aufzuregen vermögen, so reichen auch die Bewegungen der Atmosphäre nicht auf sehr große, wenn auch auf größere Höhen und bis dahin ist die Wärmeabnahme nach oben sehr abhängig von der Beschaffenheit der Erdoberfläche. Ueber weit ausgedehnten Meeren zeigt sich eine viel größere Regelmäßigkeit, als über dem Festlande und dort ist die mittlere Temperatur in einer gewissen Höhe geringer, als hier. Ueber weit ausgedehnten Hochebenen muß die Wärme größer sein, als in gleicher Höhe an einzeln stehenden Bergen. Ueber den Hochebenen sind auch die täglichen Wärmeunterschiede größer, als in den Tiefebenen, weil die dünnere Atmosphäre über jenen einerseits am Tage eine kräftigere Erwärmung des Erdbodens, andererseits in der Nacht eine bessere Ausstrahlung gestattet. Daher kommt es, daß die Angaben über die Abnahme der Temperatur um je einen Grad mit zunehmender Erhebung in der Atmosphäre je nach der Oertlichkeit zwischen 500 und 1000 Fuß schwanken. In größeren Höhen wird die Abnahme regelmäßiger, geschieht aber über der heißen Zone langsamer, als über den gemäßigten und hier wieder langsamer, als in den kalten. Die Schneegränze oder die Stelle in der Atmosphäre, in welcher die Temperatur während des ganzen Jahres niemals über 0° steigt, liegt daher z. B. im mittleren Deutschland etwa 2700, dagegen in Quito 4800 Meter hoch.

Nach der Tiefe des Erdbodens ist aber die Abnahme der Temperatur eine schnellere, und weil die Mittheilung in dem festen Körper eine langsamere ist, so verspätet sich das Eindringen sowohl der Wärme, als auch der Kälte bis zu der Stelle, in welcher das ganze Jahr über die Temperatur eine sich gleichbleibende ist, was bei uns in einer Tiefe von 70 bis 80 Fuß stattfindet. Es tritt also in Kellern von 30 bis 40 Fuß Tiefe bei uns die höchste Temperatur erst im Oktober, die niedrigste im März ein. Daher kommen die Weine nicht im Hochsommer, sondern erst im Herbste in Gährung und die Bierbrauerei, zu welcher man eine niedrige Temperatur braucht, gelingt am besten im März, wenn man nicht etwa künstliche Abkühlungsmittel durchgreifend anwendet.

Es kommt hierbei weniger auf die mittlere Jahreswärme, als auf den Unterschied zwischen der mittleren Winter- und der mittleren Sommertemperatur an, welcher um so größer wird, je mehr man landeinwärts geht; denn an den Meeresküsten sind kühle Sommer und milde Winter, im Innern des Landes aber heiße Sommer und strenge Winter vorherrschend, wie es sich u. a. bei Europa recht auffallend zeigt, wo die Westküste einen milderen Winter hat, als die Landestheile östlich im Inneren.

In allen noch so verwickelten Fällen sucht die so leicht bewegliche Atmosphäre, welche der Hauptsache nach an der Axendrehung des festen Erdkörpers theilnimmt, das in ihr durch die ungleiche Erwärmung von der Sonne, durch die mannigfache Gestaltung der festen Grundfläche, durch die Vertheilung und Strömung des Meeres, durch die Bildung von Wasserdämpfen und deren Verdichtung in verschiedenen Formen so mannigfach gestörte Gleichgewicht immer wieder herzustellen, aber ohne dieses Ziel je erreichen zu können. Weil nun die meisten dieser Störungen an gewisse Zeiten und an gewisse Orte sich binden und weil die Bewegung der Erde, welche die anfängliche Richtung der Luftströmungen, wenn sie nicht grade eine ostwestliche ist, auf bestimmte Weise abändert, auch eine gesetzmäßige ist; so erkannte vorzüglich Dove in den Bewegungen der Winde und Stürme bestimmte Gesetze und er war es auch, welcher das Drehungsgesetz des Windes (Bd. II. S. 231) aufstellte, welches sich durch die Beobachtungen bewährt hat. Dabei ist nicht nur festzuhalten, daß Winde, welche in unserer Halbkugel von Norden nach Süden wehen, wegen der Axendrehung der Erde östliche, und welche von Süden nach Norden gehen, eine westliche Ablenkung erfahren, sondern auch, daß die ersteren in einen breiter, letztere in einen enger werdenden Raum gelangen, weil die Fläche zwischen zwei gewissen Meridianen vom Aequator aus nach dem Pole sich mehr und mehr verengt. Wenn auch bei einem langsam wehenden Winde der kalte Nordwind sich in geringeren Breiten bei seiner Erwärmung ausdehnt, der warme Südwind in größeren Breiten bei der Abkühlung sich zusammenzieht; so wird doch selten, und bei größerer Geschwindigkeit nie, der Nordwind den südlichen Raum ganz erfüllen und der Südwind in dem nördlichen Raume vollständig platzfinden. Die Folgen davon sind, daß im ersten Falle seitliche oder obere Luftpartien in den fehlenden Raum gelangen und daß im zweiten Falle ein Verdrängen der vorhandenen Luft stattfindet. Es ist wohl klar, daß der Kampf der unteren Polar- und oberen Aequatorialströmung Wirbelstürme, welche nicht unter allen Umständen dem Drehungsgesetze entsprechen, hervorbringen müssen.

Dove hat eine Reihe von praktischen Regeln angegeben, welche zugleich den Gang der meteorologischen Instrumente enthalten. Für die Passatzone sind diese Regeln am einfachsten, weil die Axendrehung

der Erde dem Strome mit beständigem Ausgangs- und Endpunkte auf einer ziemlich gleich breit bleibenden Bahn auch eine bestimmte und stetige Ablenkung (Passat) gibt und die Stürme nur einer Form angehören. Etwas verwickelter wird die wirbelnde Form der Stürme im Gebiete der Monsoons, weil hier innerhalb eines Jahres zwei periodisch mit einander abwechselnde Drehungen hervortreten. Am verwickeltsten werden die Erscheinungen in den gemäßigten Zonen, wo das Drehungsgesetz in seiner größten Allgemeinheit zur Geltung gelangt und auch Stürme von allen Formen, aber die Wirbel glücklicher Weise nur in einer abgeschwächten Stärke vorkommen. Es ist, wie wir früher (Bd. II. S. 234) kurz schon angedeutet haben, von der höchsten praktischen Wichtigkeit, die Anzeichen im Gange der meteorologischen Instrumente zu kennen, welche auf einen einbrechenden Sturm deuten, um großem Unglücke auf den Meeren möglichst vorzubeugen. Wir geben daher die von Dove aufgestellten Regeln vollständig und schließen nur hin und wieder noch einige Bemerkungen an.

1. Passatzone.

Der beständige Wind der heißen Zone, NO. im nördlichen Theile, SO. im südlichen Theile derselben, ist durch die Zwischenzone der Windstillen in zwei Theile getheilt. Diese windstille Gegend fällt nicht auf die Linie (den Aequator) selbst, sondern nördlich von derselben, so daß der Südost-Passat als Süd einige Grade über den Aequator auf die nördliche Erdhälfte übergeht; auch ist ihre Breite in unserem Sommer größer. Der Grund davon liegt in der überwiegenden Ländermasse der nördlichen Halbkugel.

Das Barometer ändert seinen Stand in der Passatzone jährlich sehr wenig, steht aber an der äußeren Gränze 1 bis 2 Linien höher, als in der inneren, so daß es also, wenn sich ein Schiff dem Aequator nähert, um diese Größe allmählich fällt. Hingegen bewegt es sich täglich periodisch sehr regelmäßig, indem es gegen 9 Uhr morgens und abends seinen höchsten, und nach 3 Uhr morgens und nachmittags seinen tiefsten Stand erreicht. Diese Veränderung beträgt aber kaum eine Linie.

Da nun bei Wirbelstürmen das Barometer im Mittelpunkte des Wirbels oft um einen Zoll fällt, so folgt unmittelbar, daß ein plötzliches tiefes Fallen des Barometers auf die Annäherung eines Wirbelsturmes deutet. Der Grund davon, daß der Luftdruck im Mittelpunkte des Wirbels ein weit geringerer, als nach seinem Umfange ist, liegt in der Fliehkraft der den Wirbel bildenden Luft.

Die fortschreitende Bahnlinie des Orkans theilt die Fläche der Erde, über welche der Wind im Wirbel kreist, in Hälften, in denen der Wind für einen feststehenden Beobachtungspunkt sich verschieden dreht:

im rechten Halbkreise beider Halbkugeln nämlich mit der Sonne N. O. S. W. N., in dem linken gegen die Sonne N. W. S. O N. Rechts und links gelten hierbei für einen im Mittelpunkte befindlichen Beobachter, wenn er sein Gesicht nach der von dem Orkane noch zu durchlaufenden Bahnlinie wendet.

Der Seemann muß daher darauf achten, das Schiff über den richtigen Bug beizudrehen und dieses ist derjenige, welcher beim Umlaufen des Windes anzuluven erlaubt, um wieder an den Wind zu kommen. Dies würde in den rechten Halbkreisen der Backbordsbug (Steuerbordshalsen bei NNO.-Wind, Cours des Schiffes NW.), in den linken Halbkreisen der Steuerbordsbug sein (Backbordshalsen bei ONO.-Wind, Cours des Schiffes SO.). — Läge das Schiff in den betreffenden Halbkreisen mit entgegengesetzten Halsen, so würde es beim Umlaufen des Windes abfallen müssen, um wieder beim Winde zu liegen, in der Zwischenzeit aber mit backen Raaen, wenn vor Topp und Takel, Brechseen widerstandslos ausgesetzt, sich in einer äußerst gefährlichen Lage befinden.

Zieht man ferner durch das Zentrum des Wirbels auf die Bahnlinie eine senkrechte Linie, so theilt man die beiden Halbkreise in vier Quadranten, und es ist leicht einzusehen, daß von den beiden vor dem im Mittelpunkte befindlichen Beobachter derjenige Quadrant der gefährlichste sein wird, in welchem der Wind auf die Bahn des Orkans zuweht, also auf der nördlichen Erdhälfte der rechte, auf der südlichen dagegen der linke; denn hier kann man sich nicht, wie in den beiden anderen vor dem Winde steuernd vom Zentrum entfernen. Es bleibt daher dem Schiffe nichts anderes übrig, als über den richtigen Bug beizudrehen, d. h. in der nördlichen Erdhälfte über Backbords-, in der südlichen über Steuerbordsbug. — Befindet sich dagegen das Schiff in einer Gegend, in der man über die Richtung der Bahn des Wirbelsturmes ziemlich sicher ist, und nimmt es, der Windesrichtung beim Beginne des Sturmes gemäß, eine solche Stelle im gefährlichsten Quadranten ein, daß das Zentrum des Orkans in nur geringer Entfernung an ihm vorüberstreifen müßte; so wird es keine größere Gefahr laufen, wenn es, vor dem Winde steuernd, die Bahn des Orkans kreuzt und sich dann auf demselben Course von ihr entfernt, als wenn es beigedreht liegen bliebe.

Im linken Quadranten der nördlichen und im rechten der südlichen Hälfte wird man sich vor dem Winde vom Zentrum entfernen können. Sollte aber die Heftigkeit des Sturmes das Lenssen nicht gestatten, oder ist man von der Bahnlinie des Zentrums so weit entfernt, daß man nichts zu fürchten hat, und würde man durch das Lenssen zu weit von seinem Course abgebracht; so kann man in der nördlichen Erdhälfte über Steuerbordsbug, in der südlichen über Backbordsbug beidrehen.

Die beiden hinteren Quadranten sind die ungefährlichsten, weil sich

das Zentrum des Wirbels schon von selbst von den hier befindlichen Schiffen entfernt.

Die Wirbelstürme schreiten im atlantischen Ozeane innerhalb der heißen Zone in der Regel von SO. nach NW. fort. Dreht sich also der Wind von ONO. durch O. nach OSO. u. s. w., so ist das Schiff auf der rechten, d. h der Nordseite des Wirbels und müßte eigentlich NO. steuern, um sich von der Bahn des Orkans entfernen. Da dies aber unmöglich ist, so muß es über Backbordsbug beidrehen, liegt also nach einander N., NNO., NO. u. s. w. an.

Stürmt der Wind für ein beigedreht liegendes Schiff stetig aus NO. mit stark fallendem Barometer, so kann man sicher darauf rechnen, dicht an der Bahnlinie des von SO. heranrückenden Orkanzentrums zu sein, und der Orkan wäre nach der Windstille aus SW. mit schnell steigendem Barometer zu erwarten. In diesem Falle muß das Schiff jedenfalls vor dem Winde nach SW. steuern und wird bei weniger schnell fallendem Barometer bald eine Drehung des Windes nach N. erfahren, muß seinen südlichen Cours aber noch längere Zeit beibehalten.

Dreht sich der Wind gegen die Sonne von NNO. durch N. nach NNW. u. s. w., so befindet sich das Schiff auf der linken, d. h. Südseite des von SO. nach NW. hinziehenden Wirbelsturmes und muß nach SW. steuern, oder wenn dieses aus irgend einem Grunde unmöglich sein sollte, über Steuerbordsbug beidrehen und wird in diesem Falle hintereinander O., ONO., NO. u. s. w. anliegen.

In nachstehender Tabelle sind zum Gebrauche des Seemanns für jede in dem gefährlichsten Quadranten auf der nördlichen Erdhälfte vorkommende Windesrichtung die richtigen Lagen des Schiffes oder die zu steuernden Course gegeben, doch findet man auch die übrigen Quadranten darin vertreten. 1 bis 17 bezeichnen alle Winde, die bei den zwischen den Himmelsgegenden NO. bis SW. und SO. bis NW. fortschreitenden Typhoonen dem Schiffe besonders gefährlich werden können. 5 bis 17 die westindischen Stürme innerhalb der heißen Zone, 9 bis 22 ihren Verlauf von den Wendekreisen bis ungefähr zur Breite der Bermudas, 15 bis 24 den weiteren Verlauf in der gemäßigten Zone.

Die Windzeichen der zweiten Spalte sind die horizontalen Tangenten des Wirbels, also die Richtung des Windes da, wo der Sturm beginnt; die der dritten Spalte die Weltgegend, nach welcher hin in Beziehung auf das Schiff das Zentrum liegt; die fünfte Spalte gibt die Lage oder den Cours des Schiffes an, wenn sich der Wind so dreht, wie es die vierte angibt; dasselbe gilt für die sechste und siebente Spalte, die sich auf die gefährlichste Seite des Wirbels beziehen.

	Richtung der Windfahne beim Beginne des Sturmes.	Das Zentrum liegt hin nach:	Dreht sich der Wind von	so ist zu steuern nach: oder das Schiff muß über Steuerbordsbug (also mit Backbordshalsen zu) beidrehen.	Dreht sich der Wind von	so muß d. Schiff über Backbordsbug (also mit Steuerbordshalsen zu) beidrehen.
1	NW	NO	NW nach W	SO	NW nach N	
2	NWzN	NOzO	NWzN = W	SOzS	NWzN = N	
3	NNW	ONO	NNW = W	SSO	NNW = N	
4	NzW	OzN	NzW = W	SzO	NzW = N	
5	N	O	N = W	S	N = O	
6	NzO	OzS	NzO = N	SzW	NzO = O	
7	NNO	OSO	NNO = N	SSW	NNO = O	
8	NOzN	SOzO	NOzN = N	SWzS	NOzN = O	
9	NO	SO	NO = N	SW	NO = O	
10	NOzO	SOzS	NOzO = N	SWzW	NOzO = O	
11	ONO	SSO	ONO = N	WSW	ONO = O	
12	OzN	SzO	OzN = N	WzS	OzN = O	
13	O	S	O = N	W	O = S	
14	OzS	SzW	OzS = O	WzN	OzS = S	
15	OSO	SSW	OSO = O	WNW	OSO = S	
16	SOzO	SWzS	SOzO = O	NWzW	SOzO = S	
17	SO	SW	SO = O	NW	SO = S	
18	SOzS	SWzW	SOzS = O	NWzN	SOzS = S	
19	SSO	WSW	SSO = O	NNW	SSO = S	
20	SzO	WzS	SzO = O	NzW	SzO = S	
21	S	W	S = O	N	S = W	
22	SzW	WzN	SzW = S	NzO	SzW = W	
23	SSW	WNW	SSW = S	NNO	SSW = W	
24	SWzS	NWzW	SWzS = S	NOzN	SWzS = W	
25	SW	NW	SW = S	NO	SW = W	

Im Südostpassat scheinen Wirbelstürme seltener zu sein. Dreht sich die Windfahne mit fallendem Barometer von SSO. durch S., SSW., SW. nach NW. u. s. w.; so ist das Schiff auf der Nordwest- oder rechten Seite eines von NO. nach SW. fortschreitenden Wirbels, muß also nach NW. steuern oder über Backbordsbug beidrehen. Fällt das Barometer mit stürmisch bleibendem SO., so befindet sich das Schiff in der Gegend der Bahnlinie des heranrückenden Zentrums. Nach der Windstille stürmt dann der Wind aus NW mit steigendem Barometer. In diesem Falle muß das Schiff nach NW. steuern, wird nach kurzer Zeit eine Drehung des Windes nach S. erfahren, muß indeß seinen nördlichen Cours noch lange beibehalten. Dreht sich hin-

gegen der Wind von O. durch ONO., NO. nach NW., so befindet sich das Schiff auf der Südost- oder linken Seite des von NO. nach SW. fortrückenden Zentrums in dem gefährlichsten Quadranten, kann also nur über Steuerbordsbug beidrehen.

In entsprechender Weise ergibt sich dann für diese Gebiete die nachstehende Tafel:

	Richtung der Windfahne beim Beginne des Sturmes.	Das Zentrum liegt hin nach:	Dreht sich der Wind von	so ist zu steuern nach:		Dreht sich der Wind von	so muß d. Schiff über Steuerbordsbug (also mit Backbordshalsen zu) beidrehen.
1	S	O	S nach W	N	oder d. Schiff muß über Backbordsbug (also mit Steuerbordshalsen zu) beidrehen.	S nach O	
2	SzO	OzN	SzO „ S	NzW		SzO „ O	
3	SSO	ONO	SSO „ S	NNW		SSO „ O	
4	SOzS	NOzO	SOzS „ S	NWzN		SOzS „ O	
5	SO	NO	SO „ S	NW		SO „ O	
6	SOzS	NOzN	SOzO „ S	NWzW		SOzO „ O	
7	OSO	NNO	OSO „ S	WNW		OSO „ O	
8	OzS	NzO	OzS „ S	WzN		OzS „ O	
9	O	N	O „ S	W		O „ N	
10	OzN	NzW	OzN „ O	WzS		OzN „ N	
11	ONO	NNW	ONO „ O	WSW		ONO „ N	
12	NOzO	NWzN	NOzO „ O	SWzW		NOzO „ N	
13	NO	NW	NO „ O	SW		NO „ N	
14	NOzN	NWzW	NOzN „ O	SWzS		NOzN „ N	
15	NNO	WNW	NNO „ O	SSW		NNO „ N	
16	NzO	WzN	NzO „ O	SzW		NzO „ N	
17	N	W	N „ O	S		N „ W	
18	NzW	WzS	NzW „ N	SzO		NzW „ W	
19	NNW	WSW	NNW „ N	SSO		NNW „ W	
20	NWzN	SWzW	NWzN „ N	SOzS		NWzN „ W	
21	NW	SW	NW „ N	SO		NW „ W	

Hierbei ist noch zu bemerken, daß die Aenderung der Windesrichtung innerhalb des Wirbels für einen dort befindlichen feststehenden Punkt gilt, daß sie aber bei einer eigenen Bewegung sehr abgeändert, ja sogar in die entgegengesetzte von der, die sie nach der Stellung des Schiffes in einem der beiden Orkan-Halbkreise sein sollte, verwandelt werden kann. Letzteres wird in den gefährlichsten Quadranten stets der Fall sein, wenn ein Schiff vor dem Sturme lenssend ebensoviel

Fahrt lauft, oder vielleicht mehr, als der Orkan fortschreitet. Das Schiff befinde sich z. B. in der Mitte des zwischen NW. und NO. eingeschlossenen Quadranten eines auf der nördlichen Erdhälfte von SO. nach NW. mit der Geschwindigkeit von 10 Seemeilen (10′) in der Stunde vorrückenden Orkans von 300′ Durchmesser. Es hat also beim Beginne des Sturmes Ostwind, welcher für einen feststehenden Punkt im rechten Halbkreise nach S. umlaufen sollte.

Für ein vor dem Winde 10′ in der Stunde segelndes Schiff aber wird sich der Wind mit stark fallendem Barometer in den ersten 12 Stunden nach NO. drehen, hierauf, nachdem bei diesem Winde die Bahn des Orkans überschritten, wird er in den nächsten 7 Stunden schneller um den halben Kompaß nach SW. laufen. Zwischen der 15. und 16. Stunde wird das Barometer seinen niedrigsten Stand erreichen, da man nur etwa 30′ vom Zentrum entfernt sein wird. Zwischen der 18. und 19. Stunde durchschneidet man zum zweiten Male, aber diesmal hinter dem Zentrum, die Bahnlinie und der Orkan endet nach etwa 30 Stunden mit einem Südwinde.

Befände sich das Schiff beim Beginne des Sturmes an derselben Stelle, der Orkan selbst aber schritte 1½ mal schneller als das Schiff, also mit 15 Seemeilen in der Stunde vorwärts, so wird das Schiff in den ersten 10 Stunden einen stets heftiger werdenden Oststurm bei stark fallendem Barometer behalten; in den nächsten 4 Stunden wird sich der Wind normal nach SO. drehen und aus dieser Richtung bei tiefstem Barometerstande am heftigsten wehen. Der Orkan wird nach etwa 28 Stunden, nachdem in den letzten 10 Stunden ununterbrochen Südwind gewesen, enden und das Schiff zwischen der 14. und 15. Stunde dem Zentrum bis auf 10—15′ sich genähert haben.

Ein beigedrehtes Schiff wird, selbst wenn man 1½—2′ Drift auf die Stunde rechnet, die Drehung des Windes stets normal haben, d. h. wie sie nach den oben angegebenen Regeln im rechten oder linken Halbkreise sein soll, und es ist daher, wenn man sich in einem von diesen Wirbelstürmen häufig heimgesuchten Meerestheile befindet und aus den Anzeichen der Witterung einen Orkan vermuthet, erst beizudrehen, bis man sich über seine Stellung im Orkane versichert hat und dann erst entweder der vorherige Cours wieder einzuhalten oder ein anderer passender zu wählen oder über den richtigen Bug beizudrehen.

Was die Zeit betrifft, zu welcher in den verschiedenen Theilen der heißen Zone die Stürme hauptsächlich zu erwarten sind, so kann man im Allgemeinen sagen, daß sie in der jährlichen Periode beim höchsten Sonnenstande erfolgen und zwar am meisten gegen das Ende dieser Periode, also in Westindien und dem chinesischen Meere im September, im südindischen Ozeane und bei Mauritius im Februar und März, während in der Bai von Bengalen die eigentlichen Wendemonate der beiden Monsoons, nämlich Mai und Oktober, die Zeiten des häufigsten

Vorkommens zu bezeichnen scheinen. Dieses ergibt sich u. a. auch aus der folgenden von Piddington gegebenen Uebersicht.

In den Monaten:	Westindien.		Meer von China.	Bai von Bengalen.	Südind. Ozean.	Mauritius
	Anzahl der Jahre:					
	123	59	64	46	39	24
Januar . .	—	—	—	1	9	9
Februar . .	—	—	—	—	13	15
März . . .	—	—	—	1	10	15
April . . .	—	—	—	1	8	8
Mai . . .	—	—	—	7	4	—
Juni . . .	1	1	2	3	—	—
Juli	2	5	5	—	—	—
August. . .	13	13	5	1	—	—
September.	10	13	18	—	1	—
Oktober . .	7	9	10	7	1	—
November .	—	—	6	6	4	—
Dezember .	—	—	—	3	3	6

Daß auf der südlichen Erdhälfte die Stürme in der gemäßigten Zone mehr den Charakter der Gales oder stetigen Winde, als der Cyclone haben, dafür spricht, daß die überwiegende Veränderung der Richtung dem Drehungsgesetze entspricht.

Bei allen Winden auf der südlichen Erdhälfte steht das Barometer niedriger, wenn es stürmt, als wenn dieses nicht der Fall ist.

Dem Aequatorialstrome gehören also auch hier die niedrigsten Stände an, dem Polarstrome ein viel unerheblicheres Sinken.

Gewöhnliche heftige Stürme oder Tornados und Gewitter treten auf jeder Erdhälfte in der heißen Zone zu der Zeit ein, in welcher die Sonne über dieser verweilt, also in unserem Sommer in der nördlichen, in unserem Winter in der südlichen. Auch die westindischen Hurrikanes treten in Gewitterform auf, d. h. sind von heftigem Niederschlag und starker elektrischer Explosion begleitet. Der Anblick des Himmels bei einem sich annähernden Wirbelsturme ist charakterisirt durch das Aufthürmen ihre Form ändernder Wolken und oft in der Ferne durch eine Wolkenbank von außerordentlicher Dunkelheit.

Auf dem Lande nehmen die Tromben in bestimmten Gegenden die eigenthümliche Gestalt der Staubwirbel an, wobei die durch die Reibung des Sandes erregte Elektrizität so groß ist, daß Baddeley an

einem isolirten Drahte nicht nur lebhafte Funken, sondern sogar kontinuirliche Entladungen erhielt.

Was die Bewegung der Meereswellen betrifft, so gehen diese bei einem Wirbelsturme von dem Mittelpunkte aus nach Richtungen, welche sich um so weniger von denen der Strahlen unterscheiden, je weiter vom Mittelpunkte entfernt sie sind, bewegen sich also vom Mittelpunkte des Wirbels nach dem Umfange desselben in einer im Sinne der Drehung desselben etwas vorgeneigten Richtung.

Daher unterscheiden sich in dieser Beziehung die verschiedenen Arten von Stürmen in folgender Weise:

1) bei einem Wirbelsturme bewegen sich die Wellen, je entfernter vom Mittelpunkte, desto mehr senkrecht auf die Richtung des Windes;
2) bei einem heftigen Sturme in der Richtung desselben;
3) bei einem Stauwinde entgegengesetzt der Richtung des Windes, wobei die Seeleute sagen, daß zwei Winde miteinander fechten.

Alles bisher Angeführte gilt nur von der heißen Zone im eigentlichen Sinne, nicht von den äußeren Gränzen des Passats, welche wie die Gegend der Windstillen mit der Sonne vom und zum Aequator rücken. Die heiße Zone wird daher, abgesehen von den Gegenden, wo die Monsoons herrschen, von einem Gürtel eingefaßt, welchen man die subtropische Zone genannt hat, wo Windstillen häufig sind. Diese windstille Gegend bildet den reinen Gegensatz zu der in der Nähe des Aequators. Am Aequator steigt die Luft auf, an den Wendekreisen sinkt sie herab. Hier steht das Barometer hoch, dort niedrig. In der subtropischen Gegend fallen die Regen beim niedrigsten Sonnenstande, in der Gegend der Windstillen beim höchsten. Hier wehen die Winde einander entgegen, an den Wendekreisen von diesen ab nach entgegengesetzten Richtungen. Der subtropischen Zone gehören die Orte an, welche bei höchstem Sonnenstande in den rückwärts verlängerten Passat aufgenommen sind, bei niedrigem aus ihm heraustreten. Diese Verlängerung rückwärts tritt am großartigsten auf, wo eine mächtige Wüste, wie in Nordafrika, die heiße Zone unverhältnißmäßig nach Norden erweitert. Daher herrschen im Sommer im mittelländischen Meere nördliche Winde unter dem Namen Tramontane vor, während der Scirocco als herabgesunkener oberer Passat im Winter das entschiedene Uebergewicht erhält und daher findet der Schiffer an der Ostseite des atlantischen Ozeans den Beginn des Passates nördlicher, als auf der Westseite desselben.

2. Gegend der Monsoons.

In den Sommermonaten herrscht auf der südlichen Halbkugel der Erde in der heißen Zone im indischen Ozeane der Südostpassat, im nördlichen Theile derselben der Südwestmonsoon.

In den Wintermonaten dort der Nordwestmonsoon, hier der Nordostpassat.

Im Gegensatze zu jenem heißt der Nordostpassat daher Nordostmonsoon, der Südostpassat Südostmonsoon.

Im Frühlinge und Herbste herrschen während der sogen. Wendemonate Windstillen, an der Küste aber in der täglichen Periode Land- und Seewinde. Das Umsetzen des einen Monsoon in den entgegengesetzten geschieht häufig durch einen Sturm: „das Ausbrechen des Monsoon."

Der Südwestmonsoon greift auf der nördlichen Erdhälfte viel weiter nach Norden (bis 30° Breite) als der Nordwestmonsoon auf der Südhälfte nach Süden, aber an der afrikanischen Küste auch weit hinab.

Die Regenzeit ist wie im Passat bei hohem Sonnenstande, also auf der nördlichen Hälfte während des Südwestmonsoons, auf der südlichen während des Nordwestmonsoons.

Der Barometerstand aber unterscheidet sich dadurch, daß, während im Passat derselbe in der jährlichen Periode nahe gleich bleibt, er in dem Gebiete der Monsoons sich periodisch ändert: während des Südwestmonsoons steht besonders in den nördlichen Gegenden der heißen Zone das Barometer mehre Linien tiefer, als im Winter, ebenso auf der südlichen Erdhälfte tiefer während des Nordwestmonsoons, als zur Zeit des Südostmonsoons.

Am Aequator verschwindet diese jährliche Veränderung des Barometerstandes fast ganz, als ein Uebergang jener entgegengesetzten Bewegungen ineinander.

Die Wirbelbewegungen der Stürme des chinesischen und indischen Meeres sind übereinstimmend mit denen entsprechender Breiten der Passatzone, nur bewegen sie sich an der chinesischen Küste mehr von O. nach W., als von SO. nach NW. Ein wesentlicher Unterschied zeigt sich darin, daß im Gebiete der Monsons die Stürme auch auf der südlichen Erdhälfte mit äußerster Heftigkeit auftreten.

Die Drehung der Windfahne ist bei den Tyfoons, obgleich die wirbelnde Bewegung der Luft selbst eine ganz bestimmte (entgegengesetzt der Bewegung eines Uhrzeigers) doch wegen der wechselnden Richtung, in welcher der Mittelpunkt möglicher Weise fortschreitet, eine weniger bestimmte, als bei den westindischen Stürmen. Sie treten während des Südwestmonsoons ein, hier bis November, und sind im September am häufigsten.

Geht der Tyfoon von NO. nach SW., so ist auf der Nordwestseite der Bahnlinie die Drehung N., NO., O., also mit der Sonne; auf der Südostseite WNW., SW., SSO., also gegen die Sonne.

An der Südküste von China in der Regel N., NO., O., SO., da die Tyfoons von O. nach W. im Süden bei ihr vorbeistreifen.

Nach Thom treten im südindischen Ozeane diese Stürme nur ein, wenn der Nordwestmonsoon zwischen dem Äquator und der Breite von 10° bis 12° südlich vorherrscht, und vorzüglich dann, wenn die Sonne vom Wendekreise des Steinbocks zurückkehrt.

Die Wirbelstürme bilden sich in der Regel in dem „die Veränderlichen" genannten Raume zwischen dem Südostpassat und dem Nordwestmonsoon.

Die wirbelnde Bewegung erfolgt von O. durch S. nach W. und N. Ihre Stärke nimmt ununterbrochen nach dem Mittelpunkte des Wirbels zu. In der Mitte desselben ist eine vollkommene Windstille und die größte Heftigkeit des Sturmes unmittelbar an der äußeren Gränze dieses windstillen Raumes. Bei der Bildung des Sturmes ist die windstille Stelle am ausgedehntesten. Wird die wirbelnde Bewegung heftiger, so verengt sich die Stelle bis zu einem Durchmesser von 10 bis 15 englischen Meilen.

Das Fortschreiten des Wirbels beträgt bis 20° südlicher Breite etwa 200 bis 220 Meilen in 24 Stunden. Von da an nimmt sie ab bis zur äußeren Gränze des Südostpassats.

Die Richtung des Fortschreitens ist von 10° südlicher Breite an in der Nähe des indischen Archipels bis zu 28° oder 30° südl. Breite an der Ostküste von Afrika zuerst WSW., dann SWzS., schlüßlich SSW.

Auf dem ganzen Gebiete des Wirbelsturmes herrschen heftige Regen, in größerer Ausdehnung aber vor demselben, als hinter ihm. Das Aussehen der dunklen ungebrochenen Wolken ist bleifarben, wenn der Mittelpunkt sich nähert.

Elektrische Entladungen treten überwiegend auf der dem Aequator zugewendeten Seite desselben hervor.

Jeden solchen Sturm begleitet eine unregelmäßig bewegte See auf eine Entfernung von 3—400 Meilen.

Das Barometer fällt stark mit Annäherung an die Mitte des Wirbels, der niedrigste Stand scheint etwas vor derselben zu liegen.

3. Nördliche gemäßigte Zone.

In den „meteorologischen Untersuchungen, 1837," hat Dove ausführlich erörtert, daß das Bezeichnende des Klimas der gemäßigten Zone das abwechselnde Vorherrschen und gegenseitige Verdrängen zweier Luftströme ist, von denen der eine von den Polargegenden nach dem Aequator strömt, der andere in entgegengesetzter Richtung, d. i. von dem Aequator nach den Polen und hat dann in den „nichtperiodischen Aenderungen der Temperaturvertheilung auf der Oberfläche der Erde 1840 bis 1859, 6 Thle., 4.", so wie in der „Darstellung der Wärmeerscheinungen durch fünftägige Mittel" nachgewiesen, daß diese entgegengesetzt

gerichteten Ströme auch nebeneinander liegen. In dieser Zone kann also weder von einer beständig bleibenden Windrichtung die Rede sein, wie in der Passatzone, noch von einer periodisch sich ändernden, wie in dem Gebiete der Monsoons, sondern nur von einer mittleren. Dieselbe fällt in der nördlich gemäßigten Zone auf SW., in der südlich gemäßigten auf NW., da die Aequatorialströme überwiegen über die polaren. Dort macht nur das Steppengebiet des südlichen Rußland eine merkwürdige Ausnahme, indem die mittlere Windrichtung von der Nordküste des kaspischen Meeres bis zu der des schwarzen und über dieses fort in die Steppe hinein eine südöstliche ist.

In Europa ist diese westliche Richtung im Winter südlicher, als im Sommer; in Amerika im Winter nördlicher, als im Sommer, und diese Verhältnisse gehen im atlantischen Ozeane allmählig ineinander über. Heftige Stürme treten hier weniger im Sommer auf, als in den eigentlichen Wintermonaten und im mittelländischen Meere zur Zeit des Ueberganges beider Jahreszeiten ineinander, weshalb sie auch Aequinoktialstürme heißen. Die Stürme sind entweder stetige Winde „Gales", welche die Windfahne mit der Sonne drehen, aber nur durch verhältnißmäßig geringere Bogen, oder umgebogene Wirbelstürme der heißen Zone, welche, sowie sie die äußere Gränze derselben überschreiten, in der nördlich gemäßigten Zone von SW. nach NO. gehen, in der südlichen von NW. nach SO.; ferner sind es auch Ströme, die einander entgegenwirkend einander zuerst stauen, dann zurückwerfen; endlich Stürme durch seitliches plötzliches Eindringen eines kalten Polarstromes in einen warmen äquatorialen.

In der jährlichen Periode ist daher das Barometer weder beständig, noch periodisch verändert, sondern im Auf- und Abschwanken und zwar ist dieses im Winter größer, als im Sommer. Das gegenseitige Verdrängen der Ströme erfolgt durch eine Drehung mit der Sonne, also S., W., N., O., S. in der nördlichen und S., O., N., W., S. in der südlich gemäßigten Zone. Daraus lassen sich die Bewegungen der meteorologischen Instrumente bei Veränderung der Windesrichtung wie folgt bestimmen.

Da der südliche Strom warm, feucht und leicht ist, der nördliche kalt, trocken und schwer; so ergeben sich unmittelbar folgende Regeln für das Verdrängen, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß der kalte Polarstrom als schwerer zuerst in die unteren Schichten der Atmosphäre einfällt, der warme leichtere hingegen früher in den höheren Schichten bereits herrscht, ehe er unten wahrgenommen wird. Die Veränderungen auf der Westseite sind daher mit den Bewegungen des Barometers gleichzeitig, während bei den Veränderungen der Ostseite die Anzeigen des Barometers den eintretenden Niederschlägen mehr vorhergehen. — Geht der Wind von Süd durch West nach Nord, so steigt das Barometer mit abnehmender Wärme. Dichte Schneegestöber im Winter,

Graupelschauer im Frühlinge, unsere meisten Sommergewitter, nach welchen die Luft sich sehr stark abkühlt, sind das Bezeichnende dieses Ueberganges. — Geht der Wind von Nord nach Nordost, so tritt heiteres Wetter ein, die Luft wird trocken bei hohem Barometerstande und im Winter folgt auf diese Schneegestöber strenge Kälte bei sehr durchsichtiger Luft. Beginnt dann das Barometer zu fallen, so trübt sich, während der Wind ein Ostwind wird, der vorher tief blaue Himmel allmählig zu einem weißlichen Ueberzuge und der nun fallende Schnee kommt von dem bereits oben eingetretenen Südwinde. Bei schnellem Fallen wird dieser Schnee zu Regen, es erfolgt Thauwetter, wenn der Wind durch Südost und Süd weiter bis Südwest geht.

Der Uebergang aus dem heiteren **Himmel** in den bedeckten erfolgt in der Regel durch feine streifige Federwolken, die sich allmählich in fedrige Schichtwolken umwandeln und eine gleichmäßige Bedeckung des Himmels einleiten. Diese Federwolken sind der von unten gesehene, in der Höhe bereits eingetretene Aequatorialstrom, welcher seinen Weg durch die beginnende Trübung bezeichnet. Der aus dem luftförmigen Zustande hervortretende Wasserdampf nimmt dann unmittelbar die feste Form an. Diese höheren Wolken bestehen daher nicht aus Nebelbläschen, sondern aus feinen Eisnadeln, welche durch Brechung des Lichtes zu den größeren Höfen um Sonne und Mond, den sogenannten Ringen, Nebenmonden und Nebensonnen Veranlassung geben. Diese sind daher mit fallendem Barometer ein fast untrügliches Kennzeichen eintretenden feuchten Wetters. Es ist eine Folge der Projektion auf das Himmelsgewölbe, daß uns die langen parallelen Streifen der fedrigen Schichtwolke als große Kreise erscheinen, welche von einem bestimmten Punkte des Horizontes auszugehen scheinen und am entgegengesetzten sich wieder vereinigen. — Von dieser scheinbaren Krümmung der Federwolke unterscheidet sich die seitliche federartige Ausschweifung derselben, welche zeigt, daß der obere Wind von wenig stetiger Richtung ist. Solche Federwolken deuten daher weniger auf Regen, als weithin gradlinig fortlaufende. — Ebenso verhält sich eine andere Abänderung der Federwolke. Da mit zunehmender Tageswärme die sich erwärmende Luft aufsteigt, so erreicht bei hoher Temperatur dieser aufsteigende Luftstrom mitunter die in der Höhe befindlichen Federwolken, die sich dann zu kleinen Haufen zusammenballen, welche unter dem Namen Schäfchen, in Süddeutschland Lämmergewölk, bekannt und haufige Federwolken sind. Im südlichen Europa sollen sie auf Regen deuten, was aber im nördlichen nicht der Fall ist.

Bei trockener warmer Luft verwischen sich die Umrisse entfernter Gegenstände durch den die Luft erfüllenden Staub, während die Sonne einen röthlichen Schein annimmt. Tritt nach lange anhaltender Trockenheit bei östlichen und nördlichen Winden im Sommer ein feuchter Wind ein, so verdichtet sich der Wasserdampf zuerst an dem in der Luft ent-

haltenen Staube, der dann schwerer werdend zu Boden sinkt. In Gebirgsgegenden erscheinen dann die Berge auffallend nahe in der so durchsichtig gewordenen Atmosphäre und man hört auch die Wasserfälle stärker rauschen. Dies gilt als ein untrüglicher Vorbote von Regen.

Da die Westseite die Regenseite ist, so ist ein klarer Sonnenuntergang ein Beweis, daß von daher zunächst ein Niederschlag nicht erwartet werden darf. Daher gilt er für ein Zeichen klaren Wetters.

Abends, wenn der aufsteigende Luftstrom aufhört, sinken die Wolken und lösen sich in den unteren wärmeren Schichten auf. Dieses beweiset aber nichts für das Wetter des folgenden Tages.

Ist die Luft sehr feucht und warm, so erregt das Gefühl der gehemmten Ausdünstung in uns die unbehagliche Empfindung, die wir durch das Wort „drückende Luft" zu bezeichnen pflegen. Die unmittelbare Wirkung der Sonnenstrahlen wird dann um so fühlbarer und man pflegt zu sagen: „die Sonne sticht".

Dringt im Winter der Südwind der Höhe schnell ein, so regnet es bereits in der Höhe; es fallen aber kleine durchsichtige Eiskörner und Eisnadeln, weil der Regen beim Fallen gefriert und man sagt dann: es fällt Glatteis, da auch der bald eintretende Regen am kalten Boden gefriert und ihn mit glattem Eise überzieht. Sturm aus SW. bei sehr niedrigem Barometer ist dann zu erwarten.

Regen mit steigendem Barometer und Westwind im Winter wird Schnee, Schnee mit Ostwind und fallendem Barometer wird Regen.

Geht im Frühjahre der Wind durch West nach Nord, so ist bei schneller Aufhellung ein Nachtfrost zu erwarten, auch wenn das Thermometer in einiger Höhe über dem Boden nicht unter den Frostpunkt sinkt.

Schwere Gewitter, die mit Ostwind aufsteigen, kühlen mit fallendem Barometer die Luft nicht ab. Man sagt dann, es bleibt schwül und es wird ein neues Gewitter kommen. Die Abkühlung erfolgt erst mit einem Westgewitter und steigendem Barometer.

Folgen mehre Westgewitter aufeinander, so kommt das spätere gewöhnlich aus einer nördlicheren Richtung.

Bei Westgewittern ist der Unterwind nördlicher, als der obere; die eigentlichen Gewitterwolken (haufig Schichtwolken) ziehen daher mehr oder minder rechtwinklig auf die Streifen der oberen Federwolke.

Je größer der Wärmeunterschied der einander verdrängenden Winde, je entgegengesetzter also ihre Richtung, desto eher wird die Wolke zur Gewitterwolke. Die einander entgegen wehenden Winde erzeugen daher, ehe das Gewitter heraufkommt, eine Windstille. Das plötzliche Einbrechen des kalten Windes deutet man daher unrichtig, wenn man sagt: das Gewitter kehrt den Wind um.

Die Wintergewitter in Norwegen sind Westgewitter, bei denen der Unterschied schnell nördlich wird. Das Barometer steigt und es folgt

Kälte. Thauwetter, milde Luft, starker Regen und Südwinde gehen ihm vorher.

Denselben Charakter haben auch die seltenen Wintergewitter in Deutschland. Doch gibt es noch eine zweite Klasse derselben. Sie treten dann ein, wenn ein Aequatorialstrom mit großer Mächtigkeit einsetzt. Blitz und Donner sind dann manchmal so heftig, daß man sagt: der Himmel öffnet sich. Ihnen folgt dann eine vollständige Frühlingsluft.

Die Zeit, in welcher die Gewitter am häufigsten hervortreten, richtet sich überhaupt nach dem Eintreten der Regenzeit. Sie treten hervor in der heißen Zone bei höchstem Sonnenstande, an der äußeren Gränze derselben im Gebiete der suptropischen Regen bei niedrigstem, am stärksten im südlichen Europa im Frühlinge und Herbste, im nördlichen Europa von den Alpen an im Hochsommer, Norwegen ausgenommen, überhaupt selten in der kalten Zone, wo sie aber doch bis in hohe Breiten vorkommen, endlich in vulkanischen Gegenden als begleitende Folge des schnell aufsteigenden Stromes über der Ausbruchsäule eines Vulkans und dann zu Zeiten, wo sie ohne diese Bedingungen sich nicht zeigen.

Bei lange anhaltendem schlechtem Wetter schwankt die Windfahne fortwährend zwischen Südwest und West, während das Barometer in kleinen Schwankungen begriffen ist. Dies ist der anhaltende Südstrom.

Niedrig ziehende Gewitter sind kurz dauernd, aber in der Regel von einem Rückfalle der Kälte gefolgt. Sie können von Graupeln und Schnee begleitet sein; ihre Blitze werden häufig durch Einschlagen verderblich. Die unten eintretenden haufenähnlichen Wölkchen ziehen mit WNW., während die oberen Federwolken mit SSW. gehen. Wenn bei verhältnißmäßig niedrigem Barometer mit südlichem Winde von anderen Orten eingehende Witterungsberichte hohe Barometerstände von westlichen Stationen berichten, so ist das Eintreten westlicher Winde wahrscheinlich; werden diese hohen Barometerstände hingegen von Ost berichtet, eher östliche Winde. Im ersten Falle liegt nämlich der Polarstrom westlich vom Aequatorialstrome, im letzteren östlich. Jener kann aber in diesen seitlich eindringen.

Das Auflösen von Haufenwolken in den Nachmittagsstunden ist ein Zeichen trockener Luft und es folgt schönes Wetter. Das sog. Wasserziehen (Bd. II. S. 22) deutet auf schlechtes Wetter, ebenso das sogen. Brauen der Berge, d. h. wenn über Quellen auf Bergen sich Nebel und Wolken bilden.

Steigt das Barometer sehr schnell, so ist dieses ein Zeichen, daß der südliche und nördliche Strom nicht seitlich ineinander fallen, sondern einander grade entgegenwehend stauen. Es ist dann ein starker Sturm im Anzuge

Fällt das Barometer ebenso schnell, als es gestiegen ist, so ist der Sieg des Südstromes entschieden und die Gefahr daher nahe. Hier

führt die feste Skale des Barometers, an welcher bei diesem hohen Stande „trocken und schön" steht, vollkommen zum Irrthume.

Begegnen im Winter ein kalter und warmer Strom einander, hat aber der Südwind keine so große Kraft, daß er den Nordstrom besiegt, so tritt an der Berührungsgränze bei hohem Barometerstande ein dichter Nebel ein, welcher manchmal plötzlich verschwindet und wiederkehrt, jenachdem der südliche Strom etwas zurückweicht und man aus der Berührungsgränze wieder in den Polarstrom gelangt. Es folgt solchem Nebel dann oft strenge Kälte und dann hat der Polarstrom gesiegt.

Ist bei starkem Auf- und Abschwanken des Barometers am Beobachtungsorte die Luft still, so liegt die Störung irgendwo seitwärts. Mitunter aber siegt im Winter der südliche Strom auf einem Gebiete von größerer seitlicher Ausdehnung so, daß bei niedrig bleibendem Barometer die Luft balsamisch milde ist. Dann liegt ein kalter Winter seitlich mit hohem Barometer. In diese stark aufgelockerte Luft kann dann die daneben liegende kalte plötzlich bei rasch steigendem Barometer als Sturm einbrechen.

Geht der Wind *gegen die Sonne*, d. h. von NO. durch N. nach NW. mit stark fallendem Barometer, so ist auf dem *atlantischen Ozeane* das Schiff wahrscheinlich in einem Wirbelsturme, dessen nach NO. fortschreitendes Zentrum nach SO. hin liegt. Das Schiff muß dann womöglich nach NW. steuern, um vom Mittelpunkte des Wirbels, wo die Gefahr am größten ist, sich zu entfernen. Geht der Wind hingegen stürmisch bei fallendem Barometer von SO. durch S. nach SW., so kann das Schiff entweder in einem stetig fortschreitenden Sturme sein oder auf der Südseite eines Wirbelsturmes, dessen Zentrum nach Nordwest hinliegt. In letzterem Falle muß es nach Südost steuern und dies ist überhaupt anzurathen, da die stetigen Südweststürme überhaupt und in der Regel weiter nach Westen hin an Stärke zunehmen.

Stürmt der Wind bei fallendem Barometer anhaltend aus SO., so ist es wahrscheinlich, daß das Schiff grade auf der Richtung eines von SW. nach NO. anrückenden Sturmes sich befindet. Fällt das Barometer immer mehr bei gleichbleibender Windrichtung, aber zunehmender Stärke des Südoststurmes, so rückt das Zentrum immer näher heran. Kommt das Schiff in die Mitte des Wirbels, so tritt plötzliche Windstille bei niedrigstem Barometer ein. Dann ist der Augenblick der größten Gefahr, die nun als Sturm grade in der entgegengesetzten Richtung einbricht, nämlich von NW. Die Windfahne gibt hier die Tangente des Wirbels an. In den westindischen Gewässern gehen diese Stürme von SO. nach NW., die Windfahne weiset daher vor dem Erreichen des Zentrums NO., nachher SW. Sowie diese Stürme an die äußere Gränze der heißen Zone kommen, biegen sie sich rechtwinklig um und gehen dann von SW. nach NO. Wir erhalten in Europa nur diesen bereits umgebogenen Theil und durch die nach dem Umbiegen

eintretende Erweiterung des Wirbels den bereits abgeschwächten Erfolg desselben. Das fallende Barometer ist auch hier ein Zeichen der zunehmenden, das steigende der abnehmenden Gefahr.

Wirbelwinde von kleinem Durchmesser, als Tromben bekannt, richten bei uns in den Wäldern mitunter starke Waldbrüche an, aber in verhältnißmäßig geringer seitlicher Ausbreitung; doch können auch hier im Mittelpunkte starke Bäume entwurzelt, Häuser abgedeckt und schwere Gegenstände oft in die Höhe gehoben werden. Bei dem Fortschreiten solcher kleiner Wirbel neigt sich häufig die Axe des Wirbels stark nach vorn und zwar wegen des Widerstandes, den die Luft in Berührung mit dem Boden erfährt. Zu dieser Form gehören wahrscheinlich viele unserer Gewitter und Hagelwetter. Das Barometer wird dabei wenig erregt, weil es nur örtliche Bildungen sind, für die es unempfindlich ist, da es, den Gesammtdruck des Luftkreises messend, seine Aussagen nur für großartig verbreitete Erscheinungen vorbehält.

Die plötzlichen, solche Gewitter begleitenden Windstöße sind den Schiffen oft sehr gefährlich, wenn sie die oberen Segel nicht eingerefft haben, denn sie können plötzlich umgestürzt werden.

Feste Wetterskalen an Barometern haben schon deshalb eine sehr untergeordnete Bedeutung, weil der Unterschied der Temperatur und als Folge desselben des Druckes der beiden Ströme im Winter viel größer ist, als im Sommer. Sowie also die Bewegungen des Barometers überhaupt im Winter viel größer sind, als im Sommer, so müßte auch der Maßstab, in welchem die Skale ausgeführt ist, im Winter wenigstens doppelt so groß sein, als im Sommer. Wie sie aber entstanden sind, läßt sich leicht ableiten. Eigentlich müßte oben an der Skale Nordostwind stehen oder ruhiger Polarstrom, in der Mitte Ost- und Westwinde oder richtiger: Uebergang der Ströme ineinander, unten Südwest oder richtiger: Aquatorialstrom. Da nun die Luft des Polarstromes aus kälteren Gegenden in wärmere fließt, also ihre Fähigkeit, Dämpfe aufzunehmen, sich vermehrt; so steht an der Skale der Erfolg dieser Vermehrung, d. h. sehr trocken oder heiter und schön. — Da im Uebergange der Ströme ineinander bei West und Ost aus der Vermischung der Ströme Niederschläge erfolgen, aber heiteres Wetter abschließt oder sich einleitet, so steht dort an der Skale: veränderlich. Da nun der in höhere Breiten dringende Südstrom seinen Wasserdampf über dem kälter werdenden Boden immer mehr verliert, so steht bei seinem Werthe schlechtes Wetter; dringt er aber schnell in höhere Breiten, so weicht die Druckkraft seiner durch die Wärme aufgelockerten Luft, welche auf ihrem Wege den Wasserdampf noch verliert, am meisten von dem mittleren Drucke am Beobachtungsorte ab und es steht daher unten an der Skale Sturm.

Aus dem vorher Erläuterten geht unmittelbar hervor, daß man, da auf der Westseite der Windrose das Barometer bei Niederschlägen

steigt, auf der Ostseite fällt, unmöglich Witterungsregeln ohne Berücksichtigung der Windesrichtung aufstellen kann, wie so oft und immer vergeblich versucht wird. — Uebrigens gehen mitunter die Erscheinungen der einen Seite in die der anderen über, ohne daß in der Form des Niederschlages eine Aenderung oder eine Unterbrechung eintritt. Beginnt es nach strenger Kälte, wenn der Wind von N. nach SO. geht, zu schneen, so vermindert sich allerdings die Kälte mit fallendem Barometer, aber das Thermometer braucht nicht über den Frostpunkt zu steigen. Dann wird der Schnee nicht Regen bei S. und wenn dieser bald wieder verdrängt wird, so ist der Schneefall ununterbrochen, aber in der That besteht er aus zwei verschiedenen Bildungen: die erste Hälfte erfolgt mit fallendem Barometer dadurch, daß ein kalter Wind durch einen warmen verdrängt wird; die zweite mit steigendem, wenn dieser wiederum jenem weicht. Die Regel: neuer Schnee, neue Kälte, ist eben dadurch entstanden, daß es häufiger mit Westwinden schneet, als mit Ostwinden. Auch ist unmittelbar ersichtlich, daß es, weil der Niederschlag eben Folge der Mischung von warmer und kalter Luft ist, bei verhältnißmäßig geringer Kälte schneet. Allerdings kommt auch bei hoher Kälte Schnee vor, dies ist aber nicht Flockenschnee, sondern er besteht aus sehr dicht fallenden feinen Eisnadeln, die einer Wolkendecke ihre Entstehung verdanken, die als wärmerer Strom unmittelbar über einem darunter fließenden kalten gelagert ist. Da nun die herabfallenden Eisnadeln in dieser trockenen Luft sich nicht vergrößern können, so fehlt die Form der Flocken.

Wären die Veränderungen des Barometers im Winter und Sommer gleich groß, d. h. der Unterschied des Druckes der Ströme derselbe, so würde das Barometer bei Regen im Mittel am tiefsten stehen. Dies ist aber für das ganze Jahresmittel nicht der Fall, eben weil die Erniedrigung des Barometers bei Südwinden unter das Mittel im Winter größer, als im Sommer, die Form des Niederschlages aber im Winter eben in der Regel Schnee ist. Bei demselben Durchgange der Windfahne durch die Windrose steht aber das Barometer bei Regen tiefer, als bei Schnee.

Bei andauernd hohem Barometer und östlichem Winde während des Frühlings im mittleren Europa sind im südlichen, also im mittelländischen Meere, heftige von starkem Regen begleitete südliche Winde zu erwarten, denn der hohe Barometerstand entsteht dort dadurch, daß der Luft dieser Gegenden der Weg nach Süden durch entgegenwehende, aus der äußeren Gränze des Passats herabkommende obere Luftströme (Scirocco) abgesperrt wird. — Ferner folgt aus dem Drehungsgesetze: südliche Winde sind in höheren Breiten westlicher, nördliche sind in niederen Breiten östlicher; nur reine West- und reine Ostwinde können auf weite Strecke als ihre Richtung beibehaltend vermuthet werden.

Drehungen der Windfahne gegen die Sonne über den Süd- oder

Ostpunkt hinaus deuten auf Wirbelstürme; von NW. nach SW., aber nicht weiter, oder von ONO. nach NNO. sind sie häufig nur ein Zurückspringen der Windfahne, d. h. Zeichen, daß im ersten Falle der südliche Strom, im letzteren aber der nördliche fortdauert.

4. Südliche gemäßigte Zone.

Im regelmäßigen Verlaufe dreht sich der Wind hier mit der Sonne, also von S. durch O. und N. nach W. und S.; ebenso bei Wirbelstürmen, wenn das Schiff auf der Nordostseite der Bahnlinie des von NW. nach SO. fortschreitenden Mittelpunktes ist, nämlich von NNO. durch NNW. nach W. und WSW. und das Barometer fällt in beiden Fällen bis der Wind NW. geworden und steigt dann. Das einzig Unterscheidende ist, daß bei einem Wirbelsturme die Temperatur nahe unverändert bleibt, während bei stetigen Winden, die einander verdrängen, sie mit fallendem Barometer zunimmt, mit steigendem abnimmt. Geht der Wind von W. durch SW. nach SO., so steigt im gewöhnlichen Verlaufe das Barometer mit abnehmender Wärme. Ueberhaupt entspricht dem SO. der höchste Barometerstand mit niedrigster Wärme, dem NW. der niedrigste Barometerstand mit höchster Wärme, besonders in der kalten Jahreszeit; zugleich ist die Luft heiter bei SO., trübe bei NW. — Geht der Wind von W. durch SW. nach SO., so ist also Aufheiterung; geht er aber von SO. durch O., NO. nach NW., so ist Trübung und Regen zu erwarten.

Dreht sich der Wind gegen die Sonne von ONO. durch SO. nach S., so ist das Schiff wahrscheinlich auf der Südwestseite der Bahnlinie eines Wirbelsturmes, der von NO. nach SW. fortschreitet. Die Regeln, wo der Mittelpunkt zu vermuthen ist und wohin das Schiff zu steuern hat, sind früher erörtert worden.

Die kalte Zone habe ich, sagt Dove, von der Betrachtung ausgeschlossen. Die stürmische Zeit scheint hier der Sommer zu sein und der Uebergang vom Winter in denselben, die verhältnißmäßig windstille Zeit aber der Winter. Der höchste Barometerstand fällt im amerikanischen nördlichen Polarmeere in den Frühling. Nach den Beobachtungen von Roß scheint der von Krusenstern zuerst am Kap Horn beobachtete dauernd niedrige Barometerstand sich weit in die antarktische Zone hinein zu erstrecken, eine Stelle verminderten atmosphärischen Druckes, welche die bei Island noch erheblich zu übertreffen scheint. Die kalte Luft über den Eisfeldern scheint hier die heftigsten Südwinde oft zu stauen, die daher ihren Wasserdampf im Ankämpfen gegen dieselbe in starken Schneefällen verlieren, weswegen große Eisfelder in Drehung begriffen wallartig damit umgeben sind, weil in die Mitte hin weniger gelangt, hingegen die verschiedenen Punkte des Randes nacheinander an die Stelle des Kampfes gelangen.

In der unmittelbaren Nähe des Poles wird die Drehung der Windfahne zusammengesetzter, weil der Einfluß der Axendrehung der Erde sich ändert, sowie Ströme den Pol überschreiten, da die vorher abnehmende Drehungsgeschwindigkeit des Bodens, mit welchem die Luft in Berührung kommt, dann eine zunehmende wird. Die durch den Wärmeunterschied des Meerwassers und der darüber befindlichen viel kälteren Luft entstehenden dichten Nebel und die Bildung derselben durch den Wärmeunterschied der Luft über dem freien Meere und den Eisfeldern sind hier die überwiegende Form des Niederschlags und diese Form ist auch im Frühlinge auf dem nordatlantischen Ozeane durch die weit nach Süden treibenden Eismassen eine häufige, das Treiben solcher Massen anzeigende, besonders in der Nähe von New-Foundland.

Für den stillen Ozean sind zu wenige Beobachtungen vorhanden, um auf etwaige Abänderungen von Erscheinungen einzugehen, welche sich dort im Vergleiche zum atlantischen zeigen mögen. Aus Williams Beschreibung des Sturmes im Hafen von Avarna auf Raratonga (21° 20′ südl. Breite, 160° westl. Länge) geht hervor, daß die Stärke derselben erheblich ist. „Die ganze Insel erzitterte bis in ihre Mitte," heißt es, „als die wüthenden Wogen sich an ihrer Küste brachen. Ein den Missionären gehöriges Schiff wurde über einen Sumpf fortgeführt in einen Hain von mächtigen Kastanien einige hundert Yards landeinwärts. Der Regen fiel in Strömen vom Morgen bis in die Nacht."

Die hier mitgetheilten praktischen Regeln haben einen doppelten Zweck, einerseits dem Seemanne eine Anleitung zu geben, welche Schlüsse er aus der Himmelsansicht und dem Gange der meteoroligischen Instrumente, besonders des Barometers, für die zu erwartende Witterung zu ziehen habe, andererseits ihn darauf aufmerksam zu machen, welche Erscheinungen noch nicht genügend ermittelt, bei denen daher eine sichere Begründung durch neue Beobachtungen wünschenswerth ist. Es ist besonders erfreulich, daß von praktischen Seeleuten (Maury, Fitzroy, van Gogh, Andrau, Jansen) jetzt dafür gesorgt wird, daß die Schiffsführer erfahren, was in ihrem und im Interesse der Wissenschaft zu beobachten ist und daß Mittelpunkte gegründet sind (im Board of Trade zu Washington, im Nederlandsch Meteorologisch Institut zu Utrecht), in denen das zerstreute Material gesammelt und bearbeitet wird. Bei diesen Instruktionen ist aber das eigentlich meteorologische Element noch nicht hinreichend vertreten, eine Lücke, die ich hier auszufüllen gesucht habe.

Die hier gegebene, von mir (Dove) seit dem Jahre 1827 in einzelnen Abhandlungen entwickelte Theorie sucht darüber Rechenschaft zu geben:

1) warum die Stürme der heißen Zone vorzugsweise an bestimmten Stellen entstehen;
2) warum sie die Form von Wirbelstürmen annehmen und warum die Drehung innerhalb dieses Wirbels auf der nördlichen Erdhälfte im entgegengesetzten Sinne, als auf der südlichen stattfindet;
3) warum sie in der heißen Zone nach bestimmten Richtungen fortschreiten und beim Ueberschreiten der äußeren Gränze derselben ihre Richtung in eine darauf rechtwinklige verändern;
4) warum sich der Wirbel dabei bedeutend erweitert mit abnehmender Stärke;
5) warum die Form der Stürme in der gemäßigten Zone eine viel mannigfaltigere ist, warum aber auch hier gewisse Formen besonders zu bestimmten Zeiten und an bestimmten Stellen auftreten.

Endlich möchte noch hervorzuheben sein, daß die hier gegebene Theorie nur die Grundsätze geltend macht, aus welchen sich sowohl die Passate und die Monsoons, als auch die gesetzmäßigen Veränderungen der nicht stürmisch bewegten Luft des Gebietes der veränderlichen Winde ableiten lassen. Im Sinne der gegebenen Ableitung suchen die Hurricanes die Erde in ihrer Rotation zu beschleunigen, indem der beständige Passat sie ununterbrochen aufzuhalten strebt. Die überwiegend äquatoriale und daher westliche Richtung in der gemäßigten Zone, der Südwestmonsoon des nördlichen indischen Ozeans und der Nordwestmonsoon des südlichen bilden mit den Hurricanes zusammen die Ausgleichungselemente für die Erhaltung der unveränderlichen Drehungsgeschwindigkeit, welche der mächtige Passat sonst beeinträchtigen würde. Ihrer zerstörenden Wirkung ungeachtet sind sie daher im allgemeinen Sinne ein Erhaltungsprinzip im gesammten Organismus des Erdlebens, die Gesammtheit der hier erörterten Erscheinungen aber zugleich ein großartiger, von der Erde selbst entlehnter Beweis für die aus den astronomischen Beobachtungen zuerst geschlossene Bewegung der Erde um ihre Axe."

Von den Winden.

Schlüßlich wollen wir zu diesen praktischen Regeln von den Stürmen noch einr Reihe von Ergebnissen aus den Untersuchungen von Dove und Anderen anführen, um zu zeigen, wie auch in den verwickelten und scheinbar regellosen Erscheinungen eine strenge, durch sehr fleißige Beobachtungen ermittelte Gesetzmäßigkeit herrscht, wobei wir aber uns eine vollständigere Darlegung der Gründe hier versagen und auf Dove's Schriften selbst verweisen müssen.

Man kann, wie schon aus den angeführten Betrachtungen sich ergibt, die Bewegung der ganzen Atmosphäre in vier Gruppen zerlegen:

1) in die beständigen Winde oder die Passate, welche das ganze Jahr dieselbe Richtung haben, 2) die jährlich periodischen Winde, welche nur im Laufe eines Jahres die Richtung wechseln, 3) die veränderlichen Winde, welche in verschiedenen Zeiten aus allen Weltgegenden wehen und 4) die Stürme, namentlich die Wirbelstürme der heißen Zone.

Der Passat zerfällt bekanntlich in einen unteren und einen oberen zurückkehrenden. Das Zusammentreffen der beiden unteren Passate, des nordöstlichen und des südöstlichen, fällt auf die nördliche Erdhälfte wegen der hier überwiegenden Ländermassen, aber das Herauf- und Herabrücken der Stelle ist mehr von den Temperaturverhältnissen in der heißen Zone selbst, als von denen der ganzen Erdoberfläche abhängig, weil die Luft der von dem Aequator entfernteren Gegenden an diesem Kreislaufe nicht theilnimmt. In dieser Beziehung ist die Verbreitung der Wärme, als der Hauptbedingung für die Entstehung der Winde, von Interesse. Die mittleren Temperaturen des nördlichen Theiles der heißen Zone sind für die einzelnen Monate und Jahreszeiten in folgender Tabelle enthalten, wobei der meteorologische Winter die Monate Dezember, Januar, Februar und der Sommer die Monate Juni, Juli und August umfaßt.

Breite.	0°	10°	20°	30°
Januar	21,1	20,1	16,9	11,8
Februar	21,4	20,7	18,1	12,4
März	21,6	21,2	19,2	14,1
April	21,9	21,8	20,9	16,1
Mai	21,4	21,9	21,6	18,5
Juni	21,3	21,8	21,8	20,1
Juli	20,7	21,7	22,1	20,6
August	20,8	21,7	22,1	21,6
September . . .	20,9	21,7	21,6	20,2
Oktober	20,9	21,4	20,9	18,2
November	21,2	21,2	19,7	15,1
Dezember	21,0	20,6	18,2	12,3
Winter	21,2	20,5	17,7	12,2
Frühling	21,6	21,6	20,6	16,2
Sommer	20,9	21,7	22,0	20,8
Herbst	21,0	21,4	20,7	17,8
Jahr	21,2	21,3	20,2	16,8

Aus diesen Wärmeverhältnissen folgt, daß die physikalische Scheidelinie beider Erdhälften nördlich vom Aequator liegt, wie es auch die Lage des windstillen Gürtels und das damit zusammenhängende Verhalten des Barometers zeigt; ferner daß der Südostpassat der südlichen Halbkugel bis über den Aequator reicht und dabei seine Richtung wegen der dann geringer werdenden Drehungsgeschwindigkeit des darunter befindlichen Erdbodens durch Süd nach Südwest übergehen kann, wenn die erwärmte Stelle nur weit genug in die gemäßigte Zone hineinfällt, wie es im Sommer bei Asien der Fall ist. — Dabei ist in den verschiedenen Meeren nicht nur die gegen die Pole, sondern auch die gegen den Aequator gerichtete Gränze sowohl des Nordost-, als auch des Südostpassates verschieden und ebenso die Breite der Gegend der Windstillen, welche sich aber innerhalb engerer Gränzen bewegt, als die wärmste Stelle der Erde. Ueber diese Verhältnisse hat man aus sehr vielen Beobachtungen für die verschiedenen Monate und Orte ziemlich genaue Tabellen zum praktischen Gebrauche entworfen, aus welchen u. a. sich auch ergibt, daß die Erscheinungen im Südostpassat viel beständiger sind, als die im Nordostpassat.

Das Vorhandensein eines oberen zurückkehrenden Passates ist nicht nur eine Naturnothwendigkeit, sondern zeigt sich auch theils in dem Zuge der höchsten Wolken gegen den unteren Passat, theils in den von hochgelegenen Vulkanen ausgeworfenen und mitfortgeführten Aschen und dem Wüstenstaube. Green fand bei 426 Luftfahrten in die höheren Gegenden der Atmosphäre stets einen Luftstrom von der Westseite, wenn er hoch genug kam, bevor er ihn aber erreichte, gewöhnlich mehre verschiedene Richtungen. Die mittlere Richtung des oberen Stromes ist ungefähr WSW.

Das Barometer gibt den Gesammtdruck beider Passatströme an und es läßt durch seinen erheblich niedrigeren Stand die innere Gränze, an welcher die Luft aufsteigt nnd durch einen größeren Druck die äußere Gränze, wo der obere Passat herabkommt, erkennen.

Wie die veränderliche Stelle des Aufsteigens sich an die vorhin angegebene Vertheilung der Wärme anschließt, zeigt die folgende Tabelle, in welcher die in pariser Linien ausgedrückten Barometerstände für einen Streifen des atlantischen Ozeans von 35° nördl. Br. bis zu 36° südl. Breite angegeben sind, wobei die Zahlen ohne Zeichen die Erhebung über das Mittel, die mit dem — Zeichen den Stand unter dem Mittel angeben.

Atmosphärischer Druck in der Passatzone des atlantischen Ozeans.

Breite.	Winter.	Frühling.	Sommer.	Herbst.
Nördl. 35° bis 30°	2,16	1,38	1,93	0,94
30° = 25°	1,95	1,63	1,51	0,88
25° = 20°	0,76	0,98	0,57	—0,03
20° = 15°	0,08	0,09	—0,54	—0,55
15° = 10°	—0,70	—0,48	—1,16	—1,05
10° = 5°	—1,17	—1,21	—1,35	—1,26
5° = 0°	—1,34	—1,50	—1,36	—1,05
Südl. 0° = 5°	—1,32	—1,25	—0,98	—0,78
5° = 10°	—0,81	—0,86	—0,63	—0,27
10° = 15°	—0,37	—0,33	—0,05	0,31
15° = 20°	0,08	0,20	0,51	0,55
20° = 25°	0,47	0,56	0,87	1,40
25° = 30°	0,56	0,56	0,83	0,96
30° = 36°	—0,34	0,33	0,32	0,52
Barometermittel .	338,01	338,07	338,43	338,23
Südgränze d. NO.-Passats	5° 45′	5° 47′	11° 20′	9° 55′
Nordgränze d. SO.-Passats	2° 25′	1° 45′	3° 15′	3° 15′

Die indischen Monsoons hat man mit Unrecht als eine Art von Land- und Seewinden angesehen; die Ursache ihrer Entstehung liegt vielmehr innerhalb der gemäßigten Zone und zwar in der während unseres Sommers im Inneren Asiens vorkommenden ungemein starken Auflockerung der Luft. Wie bei den Passaten denjenigen Breitekreisen die Luft von beiden Seiten zuströmt, in welchen die Luft aufsteigt und bei Windstille den geringsten Barometerdruck verursacht; so gilt auch Aehnliches von den Monsoons. Die periodischen Barometerveränderungen stehen aber mit dem periodischen Temperaturwechsel in einem nicht leicht übersichtlichen Zusammenhange, weil die Quecksilbersäule getragen wird von der Summe des Druckes der trockenen Luft und der in ihr enthaltenen Wasserdämpfe, jene aber bei zunehmender Temperatur und dem dadurch bewirkten Aufsteigen und seitlichen Abfließen weniger drückt, diese durch ihre gleichzeitige Vermehrung in der wärmeren Luft einen größeren Druck ausüben. Wie lange man das Größenverhältniß beider gleichzeitig, aber in entgegengesetztem Sinne stattfindenden Veränderungen nicht kennt, läßt sich nicht einmal bestimmen, ob der Gesammt-

druck auf das Barometer mit wachsender Wärme zu- oder abnimmt, ob nicht vielleicht in dem einen Theile der Periode das Uebergewicht durch die eine, in dem anderen Theile durch die andere Veränderung bewirkt wird. Um also zu einem klaren Verständnisse zu gelangen, müssen die Veränderungen des Druckes der trockenen Luft abgesondert betrachtet werden von denen der Wasserdämpfe. Die Ergebnisse sind folgende:

1) An allen Beobachtungsorten der heißen und gemäßigten Zone nimmt die Elastizität der in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe mit steigender Temperatur zu. Diese Zunahme von den kälteren nach den wärmeren Monaten hin ist in der Gegend der indischen Monsoons, besonders nach der nördlichen Gränze hin, am bedeutendsten. Die höchste Spannkraft der Dämpfe bleibt nördlich vom Aequator während der Südwestmonsoons mehre Monate eine gleich große; in der Nähe des Aequators, und zwar in der südlichen Halbkugel auf Java (Buitenzorg) ist der Uebergang zu einem geringeren Dampfgehalte. — Im atlantischen Ozeane scheint die Uebergangsstelle weiter nördlich vom Aequator zu fallen.

2) In allen Stationen der alten Welt nimmt der Druck der trockenen Luft von den kälteren nach den wärmeren Monaten ab. Der kleinste Druck fällt in der gemäßigten Zone überall auf den wärmsten Monat, daher in der nördlichen Halbkugel auf den Juli, in der südlichen auf den Januar und Februar. Diese Oszillation ist am größten an der Nordgränze der nördlichen Monsoons, wo sie in Peking 15,63 Linien erreicht, in Hongkong, Benares, Barnaul noch 1'' übersteigt, welchen Stand sie in Calcutta und in Jakutsk fast erreicht und der am kaspischen Meere noch 10 Linien beträgt, wogegen die Schwankung in Australien noch unter 9 Linien bleibt, und im westlichen Europa nur etwa 4 Linien beträgt.

Die Vertheilung des Gesammtdruckes der Atmosphäre schließt sich aber an die Vertheilung der Wärme nicht an, denn im Juli umschließen die Isothermen einen heißesten Raum in Abessynien und Arabien, von welchem aus die Temperatur nach der Stelle in Nordasien, wo die Verminderung des Druckes am größten ist, schon erheblich abnimmt. Der Grund davon liegt darin, daß alle großen Wüsten, welche ungeachtet ihrer hohen Temperatur verhältnißmäßig wenig Wasserdämpfe liefern, in das Auflockerungsgebiet aufgenommen sind.

In Sibirien nimmt bei zunehmender Mittagshöhe der Sonne die Temperatur so schnell zu, daß sich der Wärmeunterschied zwischen Nordasien und Hindostan erheblich vermindert, aber er bleibt noch groß genug, um die Strömung der Luft als Nordost-Monsoon zu erhalten. Von da an nimmt aber die barometrische Differenz erheblich ab, denn während sie durch die Elastizität der Dämpfe in Barnaul vom Januar bis Mai noch nicht um 2 Linien erhöht wird, steigt sie in Calcutta um 4 Linien. Daher fällt das Barometer in Calcutta während dieses Zeit-

raumes nur um 4 Linien, in Barnaul beinahe 5, bis zum Juni hier sogar fast 7½, dort noch nicht 5½ Linien. Der geringste atmosphärische Druck fällt also nördlicher, als die heißeste Stelle und deshalb findet das Zuströmen nach ihr nicht allein von Süden statt, sondern noch darüber hinaus. Aus dem starken Zurückweichen der Stelle des geringsten Druckes folgt auch, daß der Südwest-Monsoon oft so plötzlich einsetzt, wie man es sonst nur von dem Nordost-Monson zu erwarten hat. Das lange Anhalten desselben liegt aber darin, daß der Südwest-Monsoon am Südabhange des Hochlandes von dem Innern Asiens durch die mächtigen Niederschläge einen großen Theil seines Wasserdampfes verliert, daher die Lücke auszufüllen nicht vermag, welche über Zentralasien sich gebildet hatte.

Der Monsoon ist also keineswegs ein Luftstrom von einer kälteren Stelle der Erdoberfläche nach einer wärmeren. Während der Südwind bei seiner Annäherung an den Aequator zu einem Südostwinde, beim Ueberschreiten und Entfernen von demselben zu einem Südwestwinde wird, entsteht aus dem Nordwinde in jenem Falle ein Nordost, in diesem ein Nordwest. Also der Nordostpassat gelangt auf die südliche Halbkugel als Nordwest-Monsoon.

Die Westmonsoons der Linie sind an der Westseite von Afrika und Amerika durch das Umbiegen der Ländermassen aus der nördlichen Richtung in eine nordwestliche (Ober-Guinea, Mexiko) aus dem Südostpassat entstanden. Es wehen daher an der Westküste Afrikas vom Juni bis zum September regenbringende SW.- und WSW.-Winde, welche bis zu den Kapverdischen Inseln reichen, wobei zwischen dem abgelenkten und ungestörten Passate eine windstille Gegend entsteht, welche auch auf der Ostseite des stillen Ozeans ziemlich weit nach Norden hinaufgeht. Hier sind in der Bai von Panama vom September bis März die Winde östliche, zwischen März und September aber südsüdwestliche. — Den entgegengesetzten Einfluß äußert die Küste von Venezuela, wo die mittlere Windrichtung vom Dezember bis April nordöstlich, von da bis zum November östlich ist.

Außerdem gibt es aber noch Seitenablenkungen des Passats, welche man in den verschiedenen Meeren auch Küstenwinde nennt, weil ihre Richtung von der Lage der Küsten von Inseln und Kontinenten bedingt wird. Sie sind nicht mit der täglich aus entgegengesetzten Richtungen wehenden Land- und Seewinden zu verwechseln; sondern sie sind eben nur eine durch das Festland bedingte Ablenkung regelmäßiger Winde. Je höher ein Land ist, über welches ein beständiger Wind weht, desto ruhiger ist hinter ihm, oder in der Richtung, nach welcher der Wind geht, das Meer bis auf ziemlich weite Strecken. Die an solche Stellen seitlich ankommenden Wellen erleiden hier für die Schiffer oft nicht ungefährliche Brandungen. Geht ein Passat an einer von Norden nach Süden sich erstreckenden Küste vorüber, so wird er

bei der größeren Erwärmung des Landes am Tage und während der wärmeren Jahreszeit überhaupt, nach diesem unter einem stumpfen Winkel hingezogen, ohne daß es in der Nacht und der kälteren Jahreszeit der Fall ist. Haben die Küsten eine andere Richtung, so ist auch die Ablenkung anders, erstreckt sich aber in manchen Gegenden bis auf fast 200 Seemeilen. Es würde hier zu weit führen; wenn wir die für den Seefahrer allerdings sehr wichtigen Erfahrungen in den verschiedenen Meeren näher angeben wollten.

Die sogen. subtropischen Winde fallen in das streitige Gebiet zwischen den beständigen Winden der Tropen und den veränderlichen der gemäßigten Zone. Die Regenzeit dieser Gegenden, in denen der obere Passat herabkommt, trifft nicht, wie in den Tropen, mit dem höchsten, sondern mit dem niedrigsten Stande der Sonne zusammen, die trockene mit dem höchsten. Wie die Stelle des Aufsteigens der Luft in der jährlichen Periode abwechselnd diesseits und jenseits des Aequators fällt, so ändert sich auch die Stelle des Herabkommens der Luft in gleicher Richtung: sie liegt in unserem Winter auf der nördlichen Halbkugel am südlichsten, im Sommer am nördlichsten, so daß in diesem Falle über dem mittelländischen Meere nördliche Winde herrschen (die Tramontane der Italiener und die Etesien der Griechen). Ob der herabgekommene obere Passat trocken oder feucht ist, hängt von der Gegend ab, über welcher er in den Windstillen aufgestiegen ist: ob sie eine wasserlose Wüste, oder ein Meer ist. Da der obere Passat wegen der Axendrehung der Erde auf der nördlichen Halbkugel ein südwestlicher ist, so müssen wir die Quelle dieser Winde nicht im Süden, sondern im Südwesten suchen. Der nach Südeuropa gelangende Aequatorialstrom wird also über dem atlantischen Ozeane zwischen Guinea und Westindien aufsteigen und während unseres Sommers einem südlicheren Theile desselben angehören, als im Winter; aber der in Kleinasien, Kaukasien und Turan im Sommer herabkommende wird wohl über der Sahara aufgestiegen sein. Weil in diesen Ländern die Sonne eine kräftige Verdunstung bewirkt und die ankommenden Winde selbst sehr trocken sind, so ist das auffallende Sinken der Wasserspiegel der mächtigen abgeschlossenen Meere wohl erklärlich. Bei der weniger beständigen Richtung dieser Passate können auch die Länder des südlichen Europas von solchen trockenen Winden getroffen werden. Diese Winde führen bisweilen einen röthlichen Wüstenstaub in solcher Menge mit sich, daß die Sonne erblaßt und der Tag in die dunkelste Nacht verwandelt wird, wie am 20. Mai 1857 zu Bagdad und Umgegend. Bei der nicht ganz beständigen Richtung dieses zurückkehrenden Passates können auch solche trockene Winde das südliche Europa treffen. Da die subtropischen Regen, welche vorzugsweise Winterregen sind, nicht nur auf den Kanaren und Azoren, sondern auch an der nordafrikanischen Küste sich zu derselben Zeit einfinden, wie im südlichen Europa, so kann

nicht das mittelländische Meer den Wasservorrath hergeben, sondern er kommt vom atlantischen Ozean.

Gleichwie die unteren Winde bei der verschiedenen Gestaltung des Bettes, welches ihnen die Erdoberfläche darbietet, ihre Richtungen oft ändern, so ist es auch mit den oberen der Fall, für welche die unteren das Bett sind. Ein recht auffallendes Beispiel bietet das Bett des adriatischen Meeres zwischen den Ausläufern der julischen Alpen nach Dalmatien und Bosnien östlich und den Appeninen westlich dar; denn der Aequatorialstrom der Luft fließt nicht von SW. nach NO., sondern von SO. nach NW. Da aber dieses Thal nördlich durch die venetianischen und karnischen Alpen geschlossen ist, so vermag der Strom diesen Wall nicht zu überschreiten, sondern er verliert nur in furchtbaren Regengüssen seinen Wasserdampf in den nach Süden sich öffnenden Thälern. Die lombardische Tiefebene bietet den einzigen Ausweg und hier geht der Gegensatz des Scirocco und der Tramontane über in den Gegensatz der Levante und Ponente. Kommt in Oberitalien der obere Passat vom Herbste bis zum Frühjahre als SW. an den ihn aufhaltenden Bergen herab, so wird er in der lombardischen Ebene zu einem N. und NO.

Noch schwieriger sind die Untersuchungen über die veränderlichen Winde in größeren geographischen Breiten, indem hier aus der Abwechselung zweier Ströme an demselben Orte die Veränderung der Windesrichtung und der Gegensatz der Witterung bei zwei gleichzeitig nebeneinander fließenden Strömen zu erklären ist, wenn sie an demselben Orte nacheinander hervortreten. Während in der heißen Zone die Ströme übereinander gelagert sind, fließen sie in der gemäßigten meist nebeneinander, weshalb auch stets kalte und milde Winter nebeneinander gelagert sind. Weil der Polarstrom in ein sich erweiterndes, der Aequatorialstrom aber in ein sich verengendes Bett fließt, muß dieser eine überwiegende Dauer und Stärke haben und die mittlere Windrichtung wird daher in der gemäßigten Zone auf der Nordhälfte der Erde eine südwestliche, auf der Südhälfte eine südöstliche sein. Je mehr der nördliche Strom ein östlicher wird, desto geringer zeigt sich seine Stärke; je mehr der südliche Strom ein westlicher wird, desto mehr nimmt er an Stärke zu; der nördliche ist der relativ und absolut trocknere. Nur wenn der nördliche Strom beinahe Ost geworden ist, wird ihn der südliche Strom in den oberen Schichten der Atmosphäre verdrängen und es stellt sich daher eine Drehung in der Richtung O., SO., S. u.s.w. ein, so daß in diesem Viertel der Windrose der Wind sich fast nie zurückdreht. Ueberdies wird der warme leichte Wind durch den kalten schweren auf der Westseite der Windrose rascher verdrängt, als der kalte schwere durch den warmen leichten auf der Ostseite.

Die Drehung des Windes in der Richtung S., W., N., O., S. in der nördlichen Halbkugel hat Dove zu allen Jahreszeiten, na-

mentlich aber im Winter beobachtet. Er sagt wörtlich: „Wenn der SW., immer heftiger werdend, endlich vollkommen durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur bis über den Thaupunkt; es kann daher nicht mehr schneen, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach W. und der dichte Flockenschnee beweist ebensogut den einfallenden kälteren Wind, als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit N. heitert sich der Himmel auf und mit NO. tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmählig beginnt dieses zu fallen und feine Cirri (Federwolken) zeigen durch die Richtung der Streifen bei ihrem Entstehen den oben eingetretenen südlicheren Wind, den das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne noch nichts davon weiß und noch ruhig O. zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Quecksilbers zeigt die Windfahne SO., der Himmel bezieht sich allmählich immer mehr und mit steigender Wärme verwandelt sich der Schnee mit SO. und S. bei SW. wieder in Regen. Nun geht es vonneuem an und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite durch eine kurze Aufhellung getrennt.

Wenn das Drehungsgesetz auch in Osteuropa mehr durch das Stauen der Ströme, in Westeuropa durch Wirbelstürme verdeckt wird, so daß der Wind häufig zurückspringt, so ist es doch durch alle Erfahrungen als richtig anerkannt.

Die regelmäßige Drehung des Windes auf der südlichen Halbkugel geschieht in der Richtung S., O., N., W., S., also gerade entgegengesetzt von der in der nördlichen, und ist ebenfalls durch vielfältige Beobachtungen auf allen Theilen der Erde vollkommen bestätigt.

Diese Drehungen sind unabhängig von der gegenseitigen Lage von Land und Meer, unabhängig von der mittleren Windesrichtung und ihren Veränderungen in der jährlichen Periode; beeinflussen aber den Gang der meteorologischen Instrumente an verschiedenen Orten in verschiedener Weise. In Europa fällt der kälteste Punkt der Windrose im Winter mehr auf NO., im Sommer mehr auf NW., und diesem entsprechend der wärmste im Winter mehr auf SW., im Sommer mehr auf SO.

Mit der gesetzmäßigen Drehung des Windes hängt eine gesetzmäßige Veränderung in dem Stande des Barometers, Thermometers und Hygrometers innig zusammen.

Um aber die Gesetze der Veränderungen dieser meteorologischen Instrumente zu erhalten, muß man für jede einzelne von den Windrichtungen die mittleren Werthe der Stände dieser Instrumente berechnen, nachdem man die periodischen Veränderungen beseitigt hat. Dadurch findet man, daß es in der Windrose zwei fast genau einander gegenüberliegende Punkte gibt, in deren einem es am kältesten und in welchem der Druck am größten ist, während in dem anderen die größte

Wärme und der geringste Druck stattfindet. Von dem größten Drucke bis zu dem geringsten und von der höchsten Wärme bis zur niedrigsten findet in der barometrischen und thermischen Windrose eine ununterbrochene Abnahme statt. Der erste Punkt fällt in die Nähe von NO., der andere in die Nähe von SW. — Geht man von SW. durch W. bis NO., so nehmen die mittleren Thermometerstände zu, während die Barometermittel abnehmen. Da nun die Elastizität des Wasserdampfes in Beziehung auf die Vertheilung in der Windrose sich genau an die thermische Windrose, der Druck der trockenen Luft aber sich genau an die barometrische Windrose anschließt; so folgt, daß sich die Veränderungen des Druckes der trockenen Luft und des Barometers grade umgekehrt verhalten, als die Veränderungen der Temperatur der Luft und der Elastizität des in ihr enthaltenen Wasserdampfes.

Nimmt man nun als nothwendige Folge der früheren Betrachtungen an, daß der Nordwest auf der südlichen Halbkugel dieselbe Rolle spielt, als der Südwest auf der nördlichen, der Südost dort dem Nordost hier entspricht; so ergeben sich folgende mittleren gesetzmäßigen Veränderungen der meteorologischen Instrumente für die beiden Halbkugeln.

Nördliche Halbkugel.

1) Das Barometer fällt bei Ost-, Südost- und Südwinden, geht bei Südwest aus dem Fallen in Steigen über, steigt bei West-, Nordwest- und Nordwinden und geht bei Nordost aus Steigen in Fallen über.

2) Das Thermometer steigt bei Ost-, Südost- und Südwinden, geht bei Südwest aus Steigen in Fallen über, fällt bei West-, Nordwest- und Nordwinden, und geht bei Nordost aus Fallen in Steigen über.

3) Die Elastizität des Wasserdampfes nimmt zu bei Ost-, Südost- und Südwinden, ihre Zunahme geht bei Südwest in Abnahme über, sie nimmt ab bei West-, Nordwest- und Nordwinden; bei Nordost geht ihre Abnahme in Zunahme über.

Südliche Halbkugel.

1) Das Barometer fällt bei Ost-, Nordost- und Nordwinden, geht bei Nordwest aus Fallen in Steigen über, steigt bei West-, Südwest- und Südwinden, und geht bei Südost aus Steigen in Fallen über.

2) Das Thermometer steigt bei Ost-, Nordost- und Nordwinden, geht bei Nordwest aus Steigen in Fallen über, fällt bei West-, Südwest- und Südwinden und geht bei Südost aus Fallen in Steigen über.

3) Die Elastizität des Wasserdampfes nimmt zu bei Ost-, Nordost- und Nordwinden, ihre Zunahme geht bei Nordwest in Abnahme über, sie nimmt ab bei West-, Südwest- und Südwinden; bei Südost geht ihre Abnahme in Zunahme über.

4) Der Druck der trockenen Luft nimmt ab bei Ost-, Südost- und Südwinden, seine Abnahme geht bei Südwest in Zunahme über, er nimmt zu bei West-, Nordwest- und Nordwinden; bei Nordost geht seine Zunahme in Abnahme über.

4) Der Druck der trockenen Luft nimmt ab bei Ost-, Nordost- und Nordwinden, seine Abnahme geht bei Nordwest in Zunahme über, er nimmt zu bei West-, Südwest- und Südwinden; bei Südost geht seine Zunahme in Abnahme über.

Das Gemeinschaftliche in beiden Halbkugeln besteht also darin, daß einerseits bei Ostwinden, andererseits bei Westwinden die Veränderungen an den meteorologischen Instrumenten dieselben sind, das Unterscheidende aber darin, daß die Veränderungen der meteorologischen Instrumente im Mittel in der nördlichen Halbkugel bei NW.- und SO.-Winden am größten, bei NO.- und SW.-Winden am kleinsten, dagegen in der südlichen Halbkugel bei NW.- und SO.-Winden am kleinsten, bei NO.- und SW.-Winden am größten sind. — Die Veränderungen sind bei Nordwinden in der nördlichen Halbkugel dem Zeichen nach verschieden von den Veränderungen bei Nordwinden in der südlichen Halbkugel, unter gleichen klimatischen Bedingungen aber in beiden der Größe nach gleich. Steigt also ein Instrument in der nördlichen Erdhälfte bei Nord, so fällt es in der südlichen bei Nord und umgekehrt. Dasselbe gilt von den Südwinden.

Ueberhaupt hat Dove durch sehr mühsame und sorgfältige Berechnungen der an sehr vielen Stationsorten mit den meteorologischen Instrumenten angestellten Beobachtungen gefunden, daß sich die gleichzeitig stattfindende Wärme, die Regenmenge und der Barometerdruck kompensiren oder ausgleichen, d. h. daß die Summen der überall für dieselbe Zeit gefundenen Resultate einen beständigen oder bestimmten Werth haben, daß also das Zuviel an gewissen Orten durch das gleichzeitige Zuwenig an den anderen ausgeglichen wird, wobei aber die Werthe zu verschiedenen Zeiten verschieden vertheilt sind. Wenn auch dieses Resultat sich theoretisch schon erwarten ließ, weil die erregende Ursache eine bestimmte und für die ganze Erde in allen Jahren sich gleichbleibende ist, so ist es doch immerhin von Interesse, aus den verwickeltsten Erscheinungen das unwandelbare Gesetz zu erkennen.

Obgleich zwischen den an verschiedenen einzelnen Stellen der Erdoberfläche hervortretenden Erscheinungen eine unmittelbare Beziehung insofern nicht stattfinden mag, als sie als Theile eines einzigen zusammengehörigen Ganzen zu betrachten sind; so ist doch einleuchtend, daß die Störungen des Gleichgewichtes, welche an einer bestimmten Stelle hervortreten, mittelbar die Veranlassung zu Störungen werden, welche dann weit davon entfernte Gebiete betreffen. In Nordamerika z. B. ist die mittlere Windesrichtnng im Winter eine nordwestliche, im Sommer eine südwestliche; in Europa aber findet das Umgekehrte statt. Es ist daher

nicht unwahrscheinlich, daß die vom November bis März vom Fuße der Rocky Mountains herwehenden Stürme der Vereinigten Staaten, denen ein Steigen des Barometers vorhergeht, das Gleichgewicht bilden zu den von SW. nach NO. fortrückenden, von einem starken Fallen des Barometers begleiteten warmen Luftströmen, welche dann Europa überströmen und im Spätherbste eine überwiegend südliche Windrichtung veranlassen. Nach der Ansicht, daß nicht an der äußeren Gränze des Passats der obere herabsinkende Passat in die gemäßigte Zone überall gleichzeitig einströmt, sondern daß vielmehr, wenn dies an bestimmten Stellen stattfindet, an anderen ein Einfließen aus der gemäßigten Zone in die heiße erfolgen muß, müssen Ausgleichungserscheinungen, wie die hier angeregten, eintreten, denn die zunehmende Stärke des Ausflusses muß mehr oder weniger durch eine entsprechende Intensität des Zuflusses ausgeglichen werden. Daher kommt es auch, daß nicht selten sehr strenge und sehr milde Winter nebeneinander liegen, wie es dieses Jahr in Amerika und Europa der Fall war. Daß diese Kompensation auch für die Niederschläge vorhanden ist, zeigte sich recht auffallend in den Jahren 1857 und 1858, indem im mittleren Europa die Trockenheit so bedeutend war, daß die Seine bei Paris einen so niedrigen Stand erreichte, wie er früher noch nie beobachtet worden war und daß im Rheine Gegenstände zum Vorschein kamen, welche sonst stets mit Wasser bedeckt waren, während in Nordamerika der Spiegel des Ontario 2 Fuß über dem aus 14jährigen Beobachtungen bestimmten Mittel stand.

An die obigen Betrachtungen schließt Dove noch folgende vorzüglich auf die Niederschläge sich beziehenden Bestimmungen, von denen ich das Wesentlichste meist mit seinen eigenen Worten wiedergebe.

1) Die relative Feuchtigkeit nimmt zu mit östlichen, ab mit westlichen Winden, aber etwas über die Punkte hinaus, wo das Barometer und Thermometer ihre äußersten Standpunkte erreichen, da der auf der Westseite unten einfallende kältere Wind zuerst die Dampfkapazität der Luft vermindert, der auf der Ostseite oben eintretende wärmere sie zunächst erhöht.

2) Die Bildung der Federwolke (des Cirrus), wodurch sich der von unten gesehene und oben eintretende Aequatorialstrom kennzeichnet, ist mit fallendem Barometer verbunden; die vom Westhorizonte heraufrückenden haufigen Schichtwolken (Cumulostrati) mit steigendem.

3) Da im Winter der Wärmeunterschied beider Ströme und dem entsprechend der Druck, welchen sie auf das Barometer äußern, am größten ist, so verdrängt im Winter der polare Strom den äquatorialen am schnellsten. Bei den dadurch entstehenden Niederschlägen geht also der Unterwind mehr nach Nord. Daher ist die mittlere Windrichtung bei Schnee nördlicher, als bei Regen. In Berlin z. B. bei Regen WSW., bei Schnee NW.

4) Aus demselben Grunde, nach welchem die barometrischen Schwankungen im Winter überhaupt größer sind, als im Sommer, wird im Mittel bei Schnee das Barometer tiefer unter dem mittleren Werthe des Windes stehen, als bei Regen.

Kommt aber bei demselben Durchgange durch die Windrose Regen oder Schnee vor, indem der bei SO. fallende Schnee bei SW. Regen wird und bei W. sich wieder in Schnee verwandelt; so steht das Barometer bei dem Regen tiefer, als bei dem Schnee.

5) Das Barometer fällt bei Regen mit Ostwinden, steigt bei Regen mit Westwinden.

Da bei Wirbelstürmen die Windfahne nur die Tangentialrichtung der sich drehenden Luftmasse an dem Beobachtungsorte angibt und nicht die Bewegungsrichtung der ganzen Luftmasse, so kann die nach den gesetzmäßigen Drehungen der Windsahne sich richtende Vertheilung der Temperatur und Feuchtigkeit nicht auch auf die Wirbelstürme angewendet werden. Da solche Wirbelstürme aber in der Regel mit Niederschlägen verbunden sind, so werden sich natürlich bei ihnen Ausnahmefälle geltend machen nnd zwar am stärksten bei den Winden der Nordostseite, weil im regelmäßigen Verlaufe des Drehungsgesetzes diese eben ohne Niederschlag sind. Dennoch muß natürlich das Uebergewicht in Beziehung auf sämmtliche Niederschläge im Sinne des Drehungsgesetzes sich zeigen. Das häufige Zurückspringen des Windes auf der Westseite bei andauerndem Aequatorialstrome kann dies nicht beeinträchtigen, da die Bedingung der Verdichtung des Wasserdampfes hier eben am ersten durch die regelmäßige Drehung, bei welcher ein kalter Wind auf einen wärmeren folgt, erfüllt wird.

6) Abgesehen von der bei der Verdampfung entstehenden Kälte steigt die Wärme nach Regen mit Ostwinden, fällt nach Regen mit Westwinden.

Den in den Hydrometeoren sich deutlich aussprechenden Gegensatz der Ost- und der Westseite der Windrose haben wir darauf zurückgeführt, daß die Erscheinungen der Westseite das Verdrängen des äquatorialen Stromes durch den polaren ihre Entstehung verdanken, die der Ostseite hingegen dadurch hervorgebracht werden, daß dieser jenem weicht. Die hier angegebenen Bestimmungen sind aber von einem örtlichen Einflusse nicht frei, dem nämlich, daß Europa nach Westen hin vom Meere bespült wird, während es nach Osten hin einen mächtigen Kontinent zur Seite hat. — Eine störende Ursache wird aber beseitigt, wenn man sie zweimal im entgegengesetzten Sinne wirken läßt. Dazu wären die Küstenstationen der Vereinigten Staaten Nordamerikas vorzugsweise geeignet. Die Berechnung eines einzigen mehrjährigen Journals in der Weise, daß der Stand des Barometers, Thermometers und Hygrometers einige Stunden vor einer bestimmten, mit Niederschlag verbundenen Windesrichtung im Mittel verglichen würde mit dem Stande der In-

strumente zu einer gleichen Zeit nach derselben würde darüber entscheiden, welchen Einfluß es hat, wenn über das Meer wehende östliche Winde dadurch ihre Feuchtigkeit steigern, während die der Westseite, welche über das Land fortschreiten, sie vermindert haben, besonders in einem Gebiete, wo ein meridianartig fortschreitendes Gebirge dem von Westen kommenden Seewinde sich entgegenstellt. Hier ist also noch durch anhaltend anzustellende Beobachtungen auf verschiedenen Stationen eine Lücke auszufüllen.

7) Daß die auf dem Lande gefundenen Ergebnisse ihre Giltigkeit auch auf der See haben, kann zwar schon indirekt geschlossen werden, ergibt sich aber aus unmittelbaren Erfahrungen der Seeleute. Hierbei sind aber die Bewegungen der Schiffe von wichtigem Einflusse auf die Beobachtungen des Drehungsgesetzes der Winde. Es ist nämlich nicht gleichgiltig, ob ein Schiff während des Verweilens in einem bestimmten Hafen oder während der Fahrt die Windbeobachtungen anstellt. Wir wollen annehmen, daß auf der nördlichen Erdhälfte ein Polarstrom an einer bestimmten Stelle entstehe und daß ein demselben sich überlassendes Schiff dem Aequator sich nähere; so wird es die Windfahne von N. durch NO. allmählig nach O. übergehen sehen, während hingegen ein an einer bestimmten Stelle des Laufes jenes Schiffes verweilender Beobachter an der Windfahne eine unveränderte Richtung wahrnehmen würde, vorausgesetzt nämlich, daß der Anfangspunkt des Polarstromes unverändert bliebe. — Denken wir uns dagegen den Fall, das Schiff bewege sich so fort, daß es dem veränderlichen Anfangspunkte sich in demselben Verhältnisse nähert, in welchem dieser von einer festen Beobachtungsstation sich entfernt; so würde der Seemann eine beständige Richtung des Windes beobachten, während der Beobachter an der festen Station eine Drehung wahrnehmen würde — Im Allgemeinen wird also eine Annäherung an den Aequator die Drehung der Polarströme (auf der nördlichen Erdhälfte von N. durch NO. nach O., auf der südlichen von S. durch SO. nach O.) beschleunigen, eine Annäherung an die Pole aber verlangsamen. Jene wirkt nämlich wie an der festen Station ein Entfernen des Anfangspunktes, diese wie ein Annähern. — Umgekehrt wird eine Annäherung des Schiffes an den Aequator die Drehung der Aequatorialströme (auf der nördlichen Erdhälfte von S. durch SW. nach W., auf der südlichen von N. durch NW. nach W.) verlangsamen, ein Entfernen von ihm aber beschleunigen.

Da sich das Drehungsgesetz des Windes auf die gesetzmäßige Aufeinanderfolge der Windesrichtungen an demselben Beobachtungsorte bezieht, so nimmt der seine Stelle ändernde Seemann nicht dieselben Bewegungen der Luft wahr, sondern er verbindet verschiedene Stadien des an verschiedenen Orten nacheinander in das gleiche Stadium tretenden Drehungsgesetzes. Man erhält also durch ein auf der See entstandenes Schiffsjournal nicht ein einer Landstation entsprechendes Ergebniß,

sondern würde es nur durch die Verbindung der Journale von Schiffen erhalten, welche nacheinander an derselben Stelle beobachten, was wohl schwer zu erreichen ist. Wenigstens wäre es zweckmäßig, wenn alle Seeleute die in Häfen erhaltenen Ergebnisse sorgfältig absonderten von denen, welche sie erhalten, wenn das Schiff unter Segel ist. Wir müssen es uns hier versagen, die von Lartigue in den Annales maritimes, 1841, p. 258 ff. enthaltenen und von Dove S. 120 mitgetheilten Resultate seiner fleißigen Arbeit hier anzuführen.

Ueberhaupt ist bei der Beurtheilung der Quelle und der Richtung eines Windes nach den Bewegungen der Windfahne einige Vorsicht nothwendig, um nicht falsche Schlüsse zu ziehen. Wir müssen in dieser Beziehung namentlich noch Folgendes festhalten.

Ruhende Luftmassen drehen die Windfahne, wenn sie sich in der Richtung der Meridiane in Bewegung setzen, und zwar:

die	polaren	auf der	Nordhälfte	der Erde	von N.	nach	O.
=	=	= =	Südhälfte	= =	= S.	=	O.
=	äquatorialen	= =	Nordhälfte	= =	= S.	=	W.
=	=	= =	Südhälfte	= =	= N.	=	W.

Auf der Nordhälfte der Erde sind also im Allgemeinen:

die Winde	von N.	nach	O.	hin der	Polarstrom,
= =	= O.	=	S.	= =	Uebergang desselben in den äquatorialen;
= =	= S.	=	W.	= =	Aequatorialstrom,
= =	= W.	=	N.	= =	Uebergang des äquatorialen in den polaren.

Auf der Südhälfte der Erde:

die Winde	von S.	nach	O.	hin der	Polarstrom,
= =	= O.	=	N.	= =	Uebergang in den äquatorialen,
= =	= N.	=	W.	= =	Aequatorialstrom,
= =	= W.	=	S.	= =	Uebergang des äquatorialen in den polaren.

Dies gibt als Ganzes für die Nordhälfte die Drehung S. W. N. O. S.
= = Südhälfte = = S. O. N. W. S.

Alle stetigen Winde werden also durch die Drehung der Erde in der Weise abgeändert, daß Aequatorialströme eine westliche Ablenkung erhalten, Polarströme eine östliche. Die Passate NO. und SO. sind stetige Polarströme, die Monsoons aber Abwechselungen eines Polar- und Aequatorialstromes in der jährlichen Periode, daher NO. und SW. auf der Nordhälfte, SO. und NW. auf der Südhälfte.

Register.

Gedruckt bei W. Moeser in Berlin, Stallschreiberstraße 34.

Spiller, Philipp,

Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für Jedermann

Bd.: 2

Berlin 1866